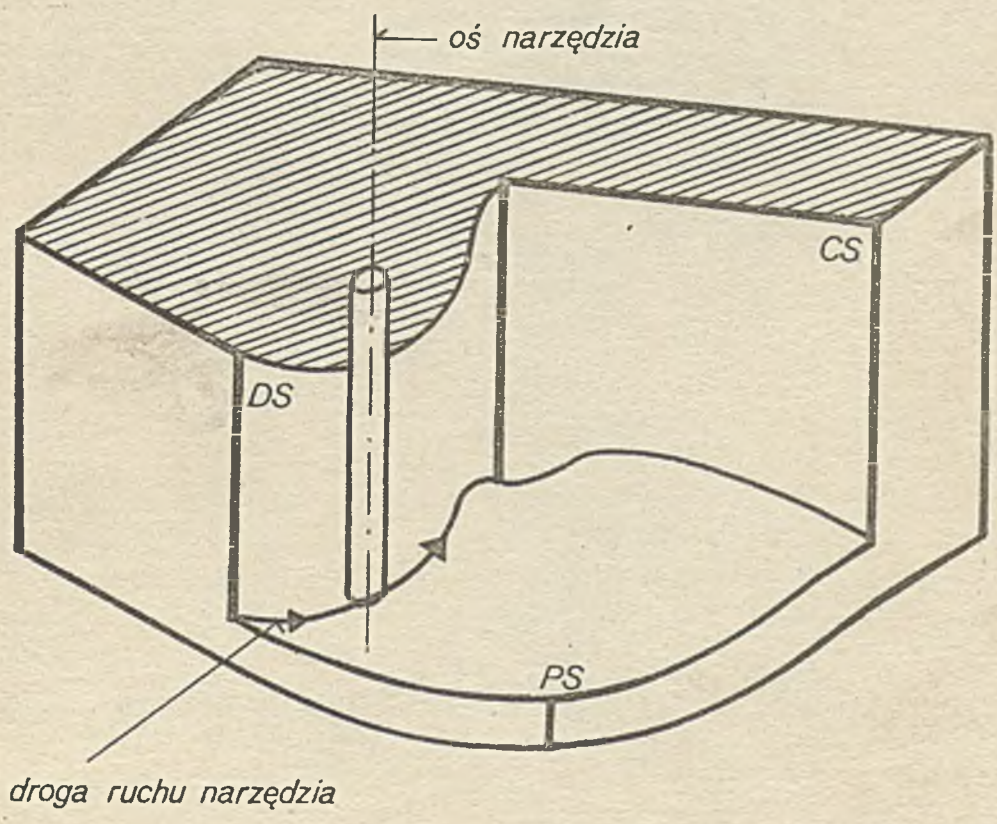
5-6 '79

biuletyn informacyjny

MERA IMM

OBIEKTOWE SYSTEMY KOMPUTEROWE



APT

Zjednoczenie Przemysłu Automatyki i Aparatury Pomiarowej „MERA"
Instytut Maszyn Matematycznych „MERA IMM" Branżowy Ośrodek INTE

Druk IMM zam. 42/81 nakł. 820 egz.

Biuletyn Informacyjny OBIEKTOWE SYSTEMY KOMPUTEROWE

Rok XVII Nr 5 - 6 1979

Spis treści

Содержание

Contents

D W U M I E S I Ę C Z N I K

Wydaje:

CENTRUM NAUKOWO-PRODUKCYJNE TECHNIK KOMPUTEROWYCH I POMIARÓW

I N S T Y T U T M A S Z Y N M A T E M A T Y C Z N Y C H

Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej Technicznej i Ekonomicznej

Adres redakcji: ul.Krzywickiego 34, 02-078 Warszawa

tel.28-37-29 albo 21-84-41 w. 244

mgr inż. Halina GUTOWSKA
mgr Grażyna KWAŚNIEWSKA
Instytut Maszyn Matematycznych

Programowanie w języku APT

Cz.I. Definiowanie kształtu części

Spis treści

---

*mgr Grażyna KWAŚNIEWSKA jest autorką punktów: 5.1; 5.2; 5.4; 5.5; 5.10; 5.15; 5.16; 5.17

1. WSTĘP

System APT (Automatically Programmed Tools) jest jednym z systemów służących do automatycznego programowania obrabiarek sterowanych numerycznie (OSN).

Tworzenie systemu rozpoczęto jeszcze w końcu lat pięćdziesiątych na zamówienie powietrznych sił zbrojnych USA i od tego czasu powstało kilka jego wersji. W niniejszym opracowaniu zostanie omówiona ostatnia, najbardziej rozbudowana wersja systemu - APT IV.

System ten jest napisany w języku FORTRAN IV. Posiada on własny język programowania, zwany dalej językiem APT. Za pomocą instrukcji tego języka programista-technolog opisuje proces obróbki detalu (części), a więc jego kształt oraz sposób wykonania, otrzymując tzw. program obróbki części. Zadaniem systemu APT jest przekształcenie poszczególnych instrukcji języka APT na kody sterujące funkcjami obrabiarki oraz położeniem narzędzia skrawającego względem obrabianego przedmiotu. Zadaniem programisty-technologa jest napisanie tzw. programu obróbki części w języku APT, a następnie jego uruchomienie w systemie APT. Omówienie instrukcji języka APT oraz sposobu pisania programów w tym języku będzie przedmiotem niniejszego opracowania.

W samym procesie pisania programu obróbki części można w zasadzie wyróżnić trzy etapy:

- definiowanie kształtu geometrycznego części,
- określenie drogi narzędzia prowadzącej do uzyskania części o zadanym kształcie,
- dołączenie pewnych instrukcji dodatkowych, o charakterze organizacyjnym, koniecznych z punktu widzenia systemu APT oraz instrukcji definiujących parametry technologiczne procesu obróbki części.

Wszystkie to etapy będą omówione w niniejszym opracowaniu.

Opracowanie to jest podzielone na trzy części. W części I omówiono problemy związane z definiowaniem kształtu geometrycznego części.

Część II zawiera omówienie sposobu programowania drogi narzędzia, natomiast w części III są omówione pewne dodatkowe możliwości języka APT, jak również przedstawiona jest struktura systemu.

Pewne informacje są zilustrowane przykładami oraz większymi fragmentami programów obróbki części. Są też zamieszczone pewne uwagi dotyczące specyficznych metod programowania w języku APT co, jak się wydaje, powinno wystarczyć do nauczenia się programowania w tym języku.

2. POJĘCIA PODSTAWOWE

System APT zajmuje się przetwarzaniem programów obróbki części składających się z zespołu instrukcji języka APT zbudowanych wg reguł opisanych szczegółowo w niniejszym opracowaniu.

Instrukcje języka APT służą przede wszystkim do:

- zadeklarowania wielkości tablic,
- nadania wartości zmiennym skalarnym (instrukcja podstawienia arytmetycznego),
- zdefiniowania elementów geometrycznych (instrukcje definicji geometrycznych),
- opisu drogi narzędzia (instrukcje początkowego ustawienia narzędzia, instrukcje przesuwu wstępnego, instrukcje ruchu narzędzia),

- opisu funkcji obrabiarki i definiowania parametrów obróbki (instrukcje postprocesora).

Ponadto istnieją specjalne grupy instrukcji służące do opisu technologii obróbki, organizacji programu obróbki części, itp.

Instrukcje języka APT zbudowane są z elementów (opisanych szczegółowo w punkcie 2.2) takich, jak znaki syntaktyczne, słowa kluczowe, nazwy, liczby i etykiety. Składnię poszczególnych instrukcji, tzn. z jakich elementów są zbudowane te instrukcje, opisują szczegółowo dalsze rozdziały niniejszego opracowania. W opisach tych stosuje się konwencję zapisu przedstawione w punkcie 2.4.

2.1. Zbiór znaków dopuszczalnych w języku APT

W języku APT dopuszczalne jest stosowanie następujących znaków:

- dużych liter
  A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U W V X Y Z
- cyfr
  0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
- znaków specjalnych
  + - */ = ( ) . , $

Ze znaków tych zbudowane są poszczególne elementy języka APT.

2.2. Elementy języka APT

Instrukcje języka APT zbudowane są z następujących elementów:

- znaków syntaktycznych,
- słów kluczowych (głównych i pomocniczych),
- nazw (zmiennych skalarnych i elementów geometrycznych),
- liczb,
- etykiet.

Instrukcje języka APT mogą składać się z jednego lub większej liczby wyżej wymienionych elementów. Zasady budowy poszczególnych typów instrukcji narzuca składnia języka APT.

Znaki syntaktyczne

Znaki syntaktyczne służą do oddzielania poszczególnych elementów w instrukcjach języka APT oraz do określenia operacji arytmetycznych.

Znakami syntaktycznymi języka APT są wszystkie znaki specjalne wymienione w punkcie 2.1, a ponadto podwójny znak dolara ($$) oraz podwójna gwiazdka (**). Poniżej będzie omówione znaczenie i zastosowanie poszczególnych znaków syntaktycznych, jak również zostaną podane proste przykłady ich zastosowania.

- Znak plus (+)

Używany jest jako operator dodawania w wyrażeniu arytmetycznym oraz do określenia znaku liczby. Dopuszcza się też liczbę bez znaku, która jest wtedy interpretowana przez system APT jako dodatnia.

Przykład

Zastosowanie znaku plus w wyrażeniu arytmetycznym:

A = B + 2 + C

Zastosowanie znaku plus do określenia znaku liczby:

PT = POINT/+1,2,+3

- Znak minus (-)

Używany jest jako operator odejmowania w wyrażeniu arytmetycznym oraz do określenia znaku liczby.

Przykład

Zastosowanie znaku minus w wyrażeniu arytmetycznym:

A = B + 2 - C

Zastosowanie znaku minus do określenia znaku liczby:

PT = POINT/-1,2,+3

- Znak gwiazdki (*)

Używany jest jako operator mnożenia w wyrażeniu arytmetycznym.

Przykład

A = B * C + 2

- Znak podwójnej gwiazdki (**)

Używany jest jako operator potęgowania w wyrażeniu arytmetycznym.

Przykład

A = B** C

- Znak slash /

Używany jest jako operator dzielenia w wyrażeniu arytmetycznym oraz do rozdzielenia głównych elementów instrukcji.

Przykład

Zastosowanie znaku slash jako operatora dzielenia:

A = B/C

Zastosowanie znaku slash do oddzielenia głównych elementów instrukcji:

PT = POINT/1,-2,3

GOLFT/L1,PAST,L3

- Kropka dziesiętna (.)

Używana jest do rozdzielania części całkowitej i dziesiętnej w zapisie liczby.

Przykład

2.63

.0523

4.

- Znak równości (=)

Używany jest do:

- nadawania wartości zmiennej skalarnej (w instrukcji podstawienia arytmetycznego), Przykład

A = B + C

co oznacza, że A staje się równe B+C.

– nadawanie nazwy powierzchni geometrycznej (w instrukcji definicji geometrycznej) lub makroinstrukcji; do nazwy tej będzie się można później odwoływać w programie obróbki części.

Przykład

Zastosowanie znaku równości w instrukcji definicji geometrycznej:

PT=POINT/1,2,3

Zastosowanie znaku równości przy definiowaniu makroinstrukcji:

MAC1=MACRO/A,B,C

– nadawanie wartości parametrom przy wywołaniu bądź definiowaniu makroinstrukcji

Przykład

Nadawanie wartości parametrom przy definiowaniu makroinstrukcji MAC2:

MAC2=MACRO/ALPHA1=3,ALPHA2=5

Nadawanie wartości parametrom przy wywołaniu makroinstrukcji MAC2:

CALL/MAC2,ALPHA1=4,ALPHA2=B

- Prawy i lewy nawias ( )

Używane są one w celu:

– wyróżnienia argumentów funkcji

Przykład

A=COSF(B)

C=DISTF(L1,L2)

– wyróżnienia indeksu zmiennej indeksowanej

Przykład

A=B(3)+C

gdzie B(3) jest zmienną indeksowaną, zaś 3 – indeksem tej zmiennej.

– zaznaczenia wyrażeń nawiasowych w wyrażeniach arytmetycznych

Przykład

A=(A+B)*C+(-D)

– zaznaczenia definicji zagnieżdżonych

Przykład

L1=LINE/(POINT/1,2,∅), PT1

– wydzielenia wyrażenia arytmetycznego w instrukcji skoku warunkowego IF

Przykład

IF(A+B) A1,A2,A3

Ponadto prawy nawias używany jest do oddzielenia etykiety instrukcji od samej instrukcji.

Przykład

A1) I=1

- Pojedynczy znak dolara ($)

Używany jest jako wskaźnik końca linii i informuje system o tym, że instrukcja jest kontynuowana w następnej linii lub na następnej karcie. Wszystkie informacje występujące po prawej stronie znaku dolara są traktowane jako komentarz, tzn. są ignorowane przez system podczas fazy translacji, natomiast zostają umieszczone na listingu programu obróbki części.

Przykład

C1=CIRCLE/CENTER,PT1,$ KONTYNUACJA
RADIUS,3Ø

- Podwójny znak dolara ($$)

Stosowanie tego znaku jest opcjonalne. Jego użycie oznacza koniec instrukcji w programie obróbki części przed końcem 72-znakowego pola danych. Informacja po prawej stronie znaku podwójnego dolara traktowana jest jako komentarz.

Przykład

FROM/PT $$ PUNKT POCZATKOWY
$$ KONIEC DEFINICJI GEOMETRYCZNYCH

Brak zarówno znaku pojedynczego, jak i podwójnego dolara, powoduje, że instrukcja APT zostaje zakończona po zinterpretowaniu 72-znakowego pola danych.

Liczby

Wszystkie liczby występujące w programie obróbki części są traktowane przez system APT jako liczby zmiennoprzecinkowe.

Liczby mogą być przedstawione w postaci:

- dziesiętnej (z kropką dziesiętną lub bez)

Przykład

1	Ø.63
1.	.63
1.Ø	-2.57

- wykładniczej

a E b

gdzie a, b są liczbami podanymi w postaci dziesiętnej.
Wartość tej liczby wynosi $a \cdot 10^b$.

Istotne jest, że w liczbie a musi wystąpić kropka dziesiętna. W przeciwnym wypadku, następujący po liczbie znak E zostanie potraktowany jako nazwa zmiennej.

Przykład

Poprawny zapis liczby 10 w postaci wykładniczej przedstawiają:

.01E3
100.E-1
+10.0E+1

Natomiast zapis:

10E+1

jest błędnym zapisem liczby w postaci wykładniczej.

Maksymalna liczba cyfr znaczących, jaka może wystąpić w liczbie, wynosi 16. Natomiast zakres reprezentowanych liczb (co do modułu) zmienia się od 10^{-75} do 10^{75}.

Gdy liczba używana jest jako indeks elementu tablicy, pod uwagę brana jest tylko jej część całkowita.

Przykład

Dla A(I), gdzie I=3.7 wartość indeksu I będzie wynosiła 3.

Słowa kluczowe

System APT posiada pewien zbiór słów kluczowych. Wyróżniamy wśród nich słowa kluczowe główne, które określają:

- typy elementów geometrycznych, np. POINT, LINE, PLANE,
- funkcje standardowe, np. SINF, COSF, DISTR,
- ruch narzędzia, np. CO, GORGT, GODLTA,
- funkcje postprocesora, np. END, FEDRAT, STOP,
- funkcje o charakterze programowym, które musi wykonać system APT, np. IF, MACRO,
- tryb pracy systemu APT, np. NOPOST, CLPRNT

oraz słowa kluczowe pomocnicze (modyfikatory) , które dokładnie precyzują sposób wykonania poszczególnych instrukcji, np. LEFT, TANTO, XSMALL.

Słowa kluczowe główne identyfikują rodzaj instrukcji, która będzie wykonana. W każdej instrukcji może wystąpić tylko jedno słowo główne. O ile instrukcja nie składa się tylko z jednego słowa, to po słowie głównym występuje znak slash.

Modyfikatory mogą występować w instrukcji po znaku slash i są one, podobnie jak inne parametry instrukcji, oddzielone od siebie przecinkami. Liczba modyfikatorów, która występuje w poszczególnych instrukcjach, określona jest przez składnię języka APT.

Słowa kluczowe są zastrzeżone przez system APT, tzn. programista nie może używać w programie obróbki części identycznych z nimi nazw.

Nazwy

Nazwy w programie obróbki części używane są do zidentyfikowania pewnego obiektu, do którego to obiektu będą odwoływać się dalsze instrukcje danego programu poprzez tę właśnie nazwę.

Nazwa składa się z co najwyżej sześciu znaków alfanumerycznych, z których jeden musi być literą. Jak już wcześniej wspomniano, nazwa nie może być identyczna z żadnym ze słów kluczowych.

W programie obróbki części programista nadaje nazwy zmiennym i definiowanym elementom geometrycznym.

Przykład

X=1 , gdzie X jest nazwą zmiennej

PT=POINT/1,1,1 , gdzie PT jest nazwą definiowanego punktu

Poszczególne nazwy muszą zostać zdefiniowane, zanim wystąpi pierwsze odwołanie do nich. W przypadku zmiennych polega to na wcześniejszym nadaniu im wartości, zaś w przypadku elementów geometrycznych na wcześniejszym umieszczeniu w programie obróbki części instrukcji definiującej element geometryczny o tej nazwie.

Etykiety instrukcji

Etykiety pozwalają na odwoływanie się do instrukcji, przy których są umieszczone, w innych instrukcjach programu obróbki części.

Etykieta składa się z co najwyżej sześciu znaków alfanumerycznych, przy czym wszystkie z nich mogą być cyframi. Musi ona wystąpić po lewej stronie instrukcji i być od niej oddzielona nawiasem zamykającym (prawym).

Przykład

Każda z poniższych instrukcji posiada etykietę:

```
ET1)    K=1
275)    K=2
12E)    K=3
```

Sposób odwoływania się do etykiet instrukcji będzie omówiony w dalszej części opisu.

2.3. Instrukcje języka APT

Instrukcje języka APT, których zbiór stanowi program obróbki części, buduje się z wymienionych w punkcie 2.2. elementów, a mianowicie ze słów kluczowych, nazw, etykiet i liczb, oddzielając je znakami syntaktycznymi. Nie wszystkie z wyżej wymienionych elementów muszą wystąpić w konkretnej instrukcji - w najbardziej skrajnym wypadku instrukcja może się składać z jednego słowa kluczowego.

Instrukcja może być kontynuowana w następnych liniach (zob. Pojedynczy znak dolara w punkcie 2.2.), natomiast nie może się ona składać z więcej niż 600 elementów.

Przykład

Instrukcja:

```
ET1)    PT=POINT/1,2,3.5
```

zawiera 11 elementów, a mianowicie:

ET1 - etykieta instrukcji,
) - znak syntaktyczny
PT - nazwa
= - znak syntaktyczny
POINT - słowo kluczowe
/ - znak syntaktyczny
1 - liczba
, - znak syntaktyczny
3.5 - liczba.

Instrukcja może się składać z jednego lub kilku (gdy jest kontynuowana) rekordów, przy czym tekst instrukcji powinien być umieszczany w znakach od 1 do 72 rekordu, natomiast w znakach rekordu o numerach 73 - 80 mogą być umieszczane kolejne numery rekordów, bądź ich identyfikatory.

Spacje pojawiające się w tekście instrukcji są przez system APT pomijane. Natomiast zaleca się ich stosowanie w celu zwiększenia czytelności tekstu.

2.4. Konwencje zapisu instrukcji

W niniejszym opracowaniu, przy dalszym opisie składni instrukcji języka APT - w celu ujednolicenia formy zapisu, zastosowano następujące zasady przedstawiania poszczególnych instrukcji:

- słowa kluczowe języka APT są pisane dużymi literami,
- podane we wzorcu instrukcji znaki specjalne (z wyjątkiem nawiasów klamrowych i prostokątnych) wchodzą w skład instrukcji,
- za pomocą małych liter oznaczone są miejsca, gdzie mogą wystąpić konkretne liczby, nazwy zmiennych lub wyrażenia arytmetyczne ujęte w nawiasy,

- nazwy napisane dużymi literami i podkreślone wskazują na miejsca, gdzie mogą wystąpić nazwy lub definicje zagnieżdżone elementów geometrycznych; jeśli nazwa taka występuje po lewej stronie znaku równości, to może ona jedynie oznaczać nazwę elementu geometrycznego,
- nazwy napisane małymi literami i podkreślone, wskazują na miejsca gdzie mogą wystąpić nazwy zmiennych lub tablic,
- w nawiasy klamrowe ujęty zostaje pewien zbiór możliwości, z których dokładnie jedną należy wybrać.

Przykład

W instrukcji:

$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=LINE/PARLEL,}\underline{\text{L1}}\text{,}\left\{\begin{array}{c}\text{XLARGE}\\ \text{XSMALL}\\ \text{YLARGE}\\ \text{YSMALL}\end{array}\right\}\text{,d}$$

LINE, PARLEL, XLARGE, XSMALL, YLARGE, YSMALL są słowami kluczowymi,

NAZWA - jest nazwą elementu geometrycznego, który w konkretnym programie obróbki części może nazywać się dowolnie,

L1 - jest nazwą lub definicją zagnieżdżoną elementu geometrycznego,

d - jest liczbą lub nazwą zmiennej.

W konkretnym programie obróbki części musi być podany dokładnie jeden z modyfikatorów ujętych w nawiasy klamrowe.

- opcjonalne części instrukcji ujęte zostają w nawiasy prostokątne.

Przykład

W instrukcji:

$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=LINE/SLOPE,t,INTERC,}\left\{\begin{array}{c}\text{[YAXIX,]}\\ \text{YAXIS,}\end{array}\right\}\text{p}$$

LINE, SLOPE, INTERC, YAXIX, YAXIS - są słowami kluczowymi,

NAZWA - jest dowolną, nadawaną przez programistę, nazwą elementu geometrycznego,

t, p - są liczbami lub nazwami zmiennej.

Stosując w programie obróbki części określoną postać instrukcji, należy wybrać dokładnie jeden z modyfikatorów ujętych w nawiasy klamrowe.

W wypadku wyboru pierwszej możliwości, tzn. modyfikatora YAXIS, modyfikator ten można pominąć, gdyż jest on ujęty w nawiasy prostokątne.

3. ZMIENNE I ELEMENTY GEOMETRYCZNE

Ze względu na sposób definiowania oraz wykorzystania, język APT wyróżnia, wśród obiektów identyfikowanych przez nazwę, zmienne oraz elementy geometryczne.

Zmienne są obiektami, którym można nadawać wartość liczbową (w instrukcji podstawienia arytmetycznego). W tym samym programie obróbki części wartość ta może być wielokrotnie zmieniana.

Elementy geometryczne mogą być definiowane w programie obróbki części tylko raz, przez właściwą instrukcję definicji geometrycznej. Próba ponownego umieszczenia nazwy już zdefiniowanego elementu geometrycznego po lewej stronie znaku równości w innej instrukcji definicji geometrycznej jest traktowana jako błąd. Od reguły tej istnieje tylko jeden wyjątek - gdy element geometryczny jest definiowany w postaci kanonicznej (zob. pkt 8). Zarówno nazwy zmiennych, jak i elementów geometrycznych mogą być nazwami indeksowanymi, czyli mogą być elementami tablic.

3.1. Deklaracja tablicy

Język APT umożliwia tworzenie tablic zmiennych i elementów geometrycznych.

Deklaracji rozmiaru tablicy dokonujemy za pomocą instrukcji RESERV o postaci:

RESERV/tab1,t1 [,tab2,t2,... [,tabn,tn]]

lub

RESERV/t1,tab1 [,t2,tab2,... [,tn,tabn]]

gdzie:

tab1, tab2, ...,tabn – są nazwami tablic, zaś
t1, t2, ..., tn – są rozmiarami odpowiednich tablic.

Pierwsza para w instrukcji RESERV określa porządek w następnych parach (tzn. nazwa tablicy, rozmiar tablicy lub rozmiar tablicy, nazwa tablicy).

Rozmiar tablicy musi być podany w postaci konkretnej liczby – nie można użyć nazwy zmiennej lub wyrażenia arytmetycznego.

Do elementów tablicy odwołujemy się przez podanie nazwy z indeksem (nazwy indeksowanej) w postaci

tab(n)

gdzie tab jest nazwą tablicy, umieszczoną uprzednio w deklaracji tablicy, zaś n jest indeksem.

Wartość indeksu może być wyrażona jako:

- liczba
- zmienna
- wyrażenie arytmetyczne

Przykład

Dla: X(5) – indeksem jest liczba 5,
X(I) – indeksem jest zmienna I,
X(I * 3-1) – indeksem jest wyrażenie arytmetyczne I * 3-1

Gdy wartość indeksu (np. otrzymana w wyniku obliczeń) nie jest liczbą całkowitą, jako indeks jest brana jedynie jego część całkowita (zob. pkt 2.4).

Tak więc na przykład, gdy wartość I jest liczbą z przedziału od 1.0 do 1.999..., wówczas jako A(I) jest brane A(1).

Wartość indeksu nie może przekroczyć rozmiaru tablicy podanego w jej deklaracji.

Jak już to zostało wyżej wspomniane, tablice mogą być używane do przechowywania wartości zmiennych lub elementów geometrycznych; decyduje o tym pierwsze użycie nazwy indeksowanej.

Przykład

```
RESERV/PT,5,X,10
PT(1)=POINT/1.0,2.0,-10.5
X(3)=-273.8
```

Taka instrukcja RESERV umożliwia zdefiniowanie pięciu elementów geometrycznych o nazwach: PT(1), PT(2),..., PT(5) oraz dziesięciu zmiennych o nazwach: X(1), X(2), ..., X(10).

3.2. Lista indeksów

Lista indeksów pozwala na skrócony zapis części, bądź też wszystkich elementów tablicy. Jest to użyteczne w niektórych instrukcjach języka APT: w instrukcjach definicji geometrycznych (z wyjątkiem definicji zagnieżdżonych) oraz w instrukcjach wejścia/wyjścia (PRINT i PUNCH). Są to jedynie instrukcje, w których jest dopuszczalne stosowanie listy indeksów.

Ogólna postać listy indeksów jest następująca

$$\underline{\text{nazwa}}\left(\begin{Bmatrix}[a,]\ \text{THRU}, \begin{Bmatrix}b\\ \text{ALL}\end{Bmatrix}\\ \text{ALL}\end{Bmatrix}\left[,\begin{Bmatrix}\text{INCR}\\ \text{DECR}\end{Bmatrix}, c\right]\right)$$

gdzie:

<u>nazwa</u> - jest nazwą wcześniej zadeklarowanej tablicy,

THRU, ALL, DECR, INCR - są modyfikatorami,

a,b,c, - są liczbami, przy czym

- a - oznacza numer pierwszego elementu listy indeksów,
- b - oznacza numer ostatniego elementu listy indeksów,
- c - oznacza wartość kroku (może on mieć wartość dodatnią lub ujemną).

Obowiązuje ograniczenie, że a i b muszą być liczbami z przedziału ⟨1, rozmiar tablicy⟩.

Zastosowanie powyższej konstrukcji powoduje wzięcie pod uwagę elementów tablicy <u>nazwa</u>, których wartość indeksów zmienia się w zakresie:

- od a do b z krokiem CW (gdy wypadkowy krok jest dodatni),
- od b do a z krokiem CW (gdy wypadkowy krok jest dodatni),

gdzie krok wypadkowy CW jest obliczany jako:

$$CW = \begin{cases} c & \text{gdy zastosowano modyfikację INCR,}\\ -c & \text{gdy zastosowano modyfikację DECR}\\ 1 & \text{gdy wartość kroku c nie została podana.}\end{cases}$$

Jeśli stosuje się krok o wartości różnej od 1, to ostatni indeks z listy indeksów będzie ostatnią wartością, która nie przekracza wyspecyfikowanego ograniczenia lub będzie równa temu ograniczeniu.

<u>Przykład</u>

Dana jest tablica o nazwie X. Wówczas lista indeksów:

X(2,THRU,4) oznacza elementy o numerach od 2 do 4, a więc X(2), X(3), X(4),

X(2,THRU,6,INCR,3) oznacza elementy o numerach od 2 do 6 z krokiem +3, czyli X(2), X(5),

X(5,THRU,10,DECR,2) oznacza elementy o numerach od 10 do 5 z krokiem -2, czyli X(10), X(8), X(6),

X(5,THRU,10,INCR,-2) jest równoważne poprzedniemu przykładowi i oznacza tak samo elementy X(10), X(8), X(6).

Wartość indeksu pierwszego elementu z listy może być pominięta - wówczas przyjmowane jest a = 1.

Użycie modyfikatora ALL zamiast podania wartości b powoduje, że za wartość parametru b przyjmowana jest wartość wymiaru tablicy podana w instrukcji RESERV.

Podanie samego modyfikatora ALL, zamiast wartości parametrów a i b oznacza, że będą brane pod uwagę wszystkie indeksy elementów tablicy o rozmiarze podanym w instrukcji RESERV.

<u>Przykład</u>

Dla tablicy n-elementowej X

X(1,THRU,ALL)	
X(THRU,ALL)	oznacza wszystkie elementy tablicy
X(ALL)	w kolejności X(1), X(2), ..., X(n)

zaś

X(ALL,DECR,2) oznacza ciąg elementów X(n), X(n-2), X(n-4), ...

Należy zauważyć, że jeżeli w instrukcji a=b, to lista indeksów składa się z dokładnie jednego elementu <u>nazwa</u>(a). Ponadto, jeżeli a > b, to użycie <u>nazwa</u> (a,THRU,b,INCR,c) da dokładnie jeden element:

<u>nazwa</u>(a)

Natomiast użycie:

<u>nazwa</u>(a,THRU,b,DECR,c)

da dokładnie jeden element

<u>nazwa</u>(b)

Przykład

Dla tablicy X lista indeksów:

X(10,THRU,6)
X(10,THRU,6,DECR,-1)

oznacza element X(10)

natomiast

X(10,THRU,6,DECR,1)
X(10,THRU,6,INCR,-1)

oznacza element X(6)

Jak to już było wspomniane, listę indeksów można zastosować w instrukcjach definicji geometrycznych lub instrukcjach wejścia/wyjścia. Odpowiedni przykład przedstawiono poniżej.

Przykład

Zastosowanie listy indeksów:

a) w instrukcjach definicji geometrycznych

PT=POINT/X(1,THRU,3)
L1=LINE/Y(ALL)

gdzie Y jest tablicą 4- lub 6-elementową, co wynika z różnych postaci definicji prostej (zob. pkt 5.4).

T1=TABCYL/NOZ,SPLINE,P(ALL)

gdzie P jest tablicą opisującą trzy lub więcej punktów, co wynika ze sposobu definiowania walca tabelarycznego (zob. pkt 5.15),

b) w instrukcjach wejścia/wyjścia

PRINT/3,PT,L1,P(ALL)

4. INSTRUKCJA PODSTAWIENIA ARYTMETYCZNEGO

Instrukcja podstawienia arytmetycznego umożliwia nadanie wartości liczbowej zmiennym prostym lub indeksowanym. Ma ona postać:

<u>nazwa</u> = wa

gdzie: <u>nazwa</u> - jest nazwą zmiennej prostej lub indeksowanej, zaś
wa - jest wyrażeniem arytmetycznym.

Przykład

Instrukcjami podstawienia arytmetycznego są:

A=C-2
X(3)= A*B-C

4.1. Wyrażenie arytmetyczne

Wyrażenie arytmetyczne składa się:

- z nazw zmiennych prostych lub indeksowanych,
- liczb,

- nazw funkcji standardowych,
- operatorów arytmetycznych oraz
- z nawiasów,

ustawionych w odpowiedniej kolejności. W szczególności wyrażenie arytmetyczne może być liczbą lub zmienną.

Operatorami arytmetycznymi są następujące znaki syntaktyczne (zob. pkt 2.2):

+	operator dodawania
-	operator odejmowania
*	operator mnożenia
/	operator dzielenia
**	operator potęgowania.

Zasady tworzenia wyrażeń arytmetycznych są takie, jak w języku FORTRAN.

W celu zaznaczenia kolejności wykonywania operacji, w wyrażeniach arytmetycznych stosuje się nawiasy. Gdy nawiasy nie występują, lub wewnątrz nawiasów, kolejność operacji jest następująca:

- obliczenie wartości funkcji,
- wykonanie operacji:

**	- potęgowanie
* lub /	- mnożenie lub dzielenie
+ lub -	- dodawanie lub odejmowanie.

Operacje o tym samym priorytecie są wykonywane od strony lewej do prawej.

Wyrażenie arytmetyczne ujęte w nawiasy może zastąpić zmienną lub liczbę (jeżeli może ona w danym miejscu wystąpić) w każdej instrukcji oprócz RESERV.

<u>Przykład</u>

Instrukcja

PT=POINT/(A+2*B),-3.,(C-B)

definiuje punkt o współrzędnych: $x = A+2*B$

$y = -3$

$z = C - B$

Wyrażenie arytmetyczne nigdy nie może wystąpić po lewej stronie znaku równości, z wyjątkiem sytuacji, gdy występuje na miejscu indeksu. I tak instrukcje

B = X(I+J)

X(I+2*J) = B+C

są poprawnie skonstruowane, natomiast instrukcje

<u>A-3</u> = C*D

CALL/MAC, <u>B+2=A</u>, C=2*D

są konstrukcjami błędnymi.

<u>4.2. Funkcje standardowe</u>

W języku APT dostępne są funkcje:

- arytmetyczne,
- trygonometryczne
- wektorowe,
- geometryczne.

Funkcje arytmetyczne i trygonometryczne są procedurami FORTRAN-u IV i działają identycznie.

Wartościami wszelkich funkcji w języku APT są liczby; mogą więc być one wykorzystywane jako elementy wyrażenia arytmetycznego.

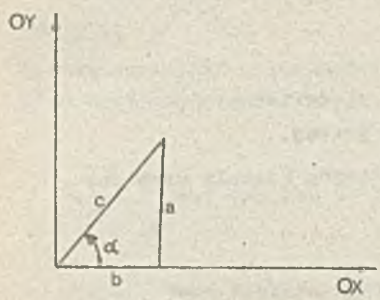
Funkcje arytmetyczne dostępne w języku APT przedstawia tab. 1.

Tab. 1. Funkcje arytmetyczne

Lp.	Postać funkcji	Definicja	
1	ABSF(x)	$\lvert x \rvert$	wartość bezwzględna argumentu
2	SQRTF(x)	$\sqrt{x}$	pierwiastek kwadratowy argumentu
3	LOGF(x)	$\ln(x)$	logarytm naturalny argumentu
4	LOG10F(x)	$\log_{10}(x)$	logarytm dziesiętny argumentu
5	EXPF(x)	e^x	wartość funkcji wykładniczej od argumentu

Argumentem funkcji arytmetycznej, przedstawionym w tabeli jako x, może być liczba, zmienna lub wyrażenie arytmetyczne.

Funkcje trygonometryczne dostępne w języku APT są przedstawione w tab. 2. Znaczenie wielkości podanych przy definicjach funkcji przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Ilustracja znaczenia parametrów funkcji trygonometrycznych

Tab. 2. Funkcje trygonometryczne

Lp.	Postać funkcji	Argument	Definicja funkcji	
1	SINF(α)	w stopniach	$\sin\alpha = \frac{a}{c}$	sinus argumentu
2	COSF(α)	w stopniach	$\cos\alpha = \frac{b}{c}$	cosinus argumentu
3	TANF(α)	w stopniach	$\tan\alpha = \frac{a}{b}$	tangens argumentu
4	ATANF(x)	liczba niemianowana	$\mathrm{arctan}(x) = $ $\tan(\alpha) = x$	arcus tangens argumentu; wynik podany w stopniach
5	ATAN2F(x,y)	liczby niemianowane	$\mathrm{arctan}\left(\frac{x}{y}\right) = \alpha$ $\tan\alpha = \frac{x}{y}$	arcus tangens ilorazu pierwszego argumentu przez drugi; x,y nie mogą być zerami

Funkcje wektorowe dostępne w języku APT przedstawia tab. 3. Argumentami tych funkcji są wektory podane w postaci ich nazwy lub definicji zagnieżdżonych, natomiast wartościami funkcji są liczby.

Tab. 3. Funkcje wektorowe

Lp.	Postać funkcji	Argument	Definicja funkcji
1	LNTHF(VE)	wektor	długość wektora
2	DOTF(VE1,VE2)	wektory	iloczyn skalarny wektorów

Funkcje geometryczne dostępne w języku APT przedstawia tab. 4. Argumentami tych funkcji są elementy geometryczne, proste, płaszczyzny, punkty, okręgi, rozkłady punktów*) podane w postaci ich nazw lub definicji zagnieżdżonych (z wyjątkiem rozkładów punktów, których nie można tak

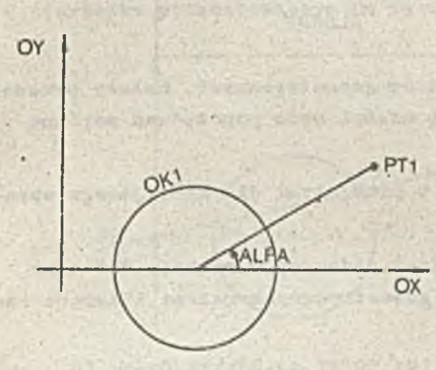
*) Rozkłady punktów będą omówione w punkcie 5.2.

zdefiniować), natomiast wartościami funkcji są liczby.

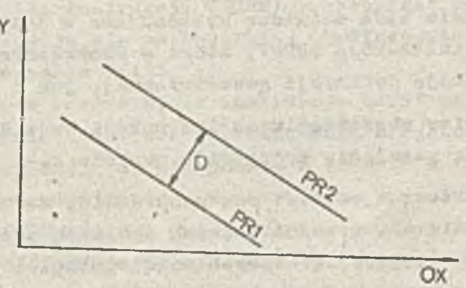
Tab. 4. Funkcje geometryczne

Lp.	Postać funkcji	Argument	Definicja funkcji
1	ANGLF(<u>OK</u>,<u>PT</u>)	<u>OK</u> - okrąg <u>PT</u> - punkt	kąt między dodatnią półosią OX a linią łączącą środek okręgu z punktem
2	DISTF(<u>P1</u>,<u>P2</u>)	<u>P1</u>,<u>P2</u> - płaszczyzny równoległe lub <u>P1</u>,<u>P2</u> - proste równoległe	odległość między płaszczyznami równoległymi lub prostymi równoległymi
3	NUMF(<u>RP</u>)	<u>RP</u> - rozkład punktów	liczba punktów w rozkładzie punktów

Znaczenie funkcji ANGLF i DISTF ilustrują rys. 2 i 3. Należy zauważyć, że w funkcji DISTF nie jest dozwolone mieszanie typów powierzchni, tak więc na przykład obliczanie odległości między płaszczyzną i prostą do niej równoległą jest błędem.



Rys. 2. Ilustracja znaczenia funkcji ANGLF, gdzie ALFA=ANGLF(OK1,PT1)



Rys. 3. Ilustracja znaczenia parametrów funkcji DISTF, gdzie D=DISTF(PR1,PR2) jest odległością między prostymi PR1 i PR2

5. INSTRUKCJE DEFINICJI GEOMETRYCZNYCH

Język APT daje programiście programów obróbki części możliwość definiowania wielu rozmaitych typów elementów geometrycznych takich, jak np.: punkt, okrąg, walec, walec tabelaryczny itp.

W celu określenia danego elementu geometrycznego, można zastosować jedną z kilku możliwych postaci definicji geometrycznych.

Rozważmy np. punkt, który ma największą liczbę możliwych przedstawień (12). I tak, można go zdefiniować np. przez podanie trzech współrzędnych, jako przecięcie dwóch prostych nierównoległych, jako jedno z dwóch miejsc przecięcia się dwóch okręgów i wiele innych.

Poniżej będą omówione szczegółowo wszystkie typy elementów geometrycznych i metody definiowania poszczególnych elementów geometrycznych.

Każdemu typowi elementu geometrycznego odpowiada słowo kluczowe pochodzące od angielskiej nazwy danego elementu geometrycznego. Słowo kluczowe stanowi wyróżnik danego typu. Przyporządkowanie słów kluczowych poszczególnym typom elementów geometrycznych zestawiono w tab. 5.

Tab. 5. Zestawienie typów elementów geometrycznych

Lp.	Typ elementu geometrycznego	Słowo kluczowe
1	punkt	POINT
2	rozkład punktów	PATERN
3	wektor	VECTOR
4	prosta	LINE
5	okrąg	CIRCLE
6	elipsa	ELLIPS
7	hiperbola	HYPERB
8	krzywa drugiego stopnia	GCONIC
9	krzywa czwartego stopnia	LCONIC
10	płaszczyzna	PLANE
11	kula	SPHERE
12	walec	CYLNDR
13	stożek	CONE
14	powierzchnia drugiego stopnia	QADRIC
15	walec tabelaryczny	TABCYL
16	powierzchnia wielostożkowa	POLCON
17	powierzchnia prostokreślna	RLDSRF

Zanim będą omówione występujące w języku APT typy elementów geometrycznych, należy przedstawić instrukcję ZSURF, która w konkretnym programie obróbki części może poprzedzać zarówno instrukcję definicji geometrycznej, jak i instrukcję ruchu.

Opisy poszczególnych instrukcji będą dokonywane zgodnie z przyjętymi dla niniejszego opracowania zasadami, podanymi w punkcie 2.4.

Warto tu jeszcze raz podkreślić, że zgodnie z informacjami podanymi w punkcie 2.4 oraz w punkcie 4 w przedstawionych ogólnych postaciach definicji geometrycznych małymi literami oznaczono miejsca, w których mogą wystąpić:

- konkretne liczby
- nazwy zmiennych, którym wcześniej nadano wartość
- wyrażenia arytmetyczne ujęte w nawiasy.

Przykład

Dopuszczalne są następujące postacie definicji:

```
PT=POINT/1,2,Ø
```

lub

```
X=1
Y=2
PT=POINT/X,Y,Ø
```

lub

```
X=1
PT=POINT/X,(X+1),Ø
```

które definiują ten sam punkt PT o współrzędnych x = 1, y = 2, z = Ø.

Użycie instrukcji ZSURF przed definicją geometryczną bądź instrukcją ruchu umożliwia zdefiniowanie w sposób niejawny współrzędnej "z".

Jeżeli w instrukcji programu obróbki części zostały wyspecyfikowane jedynie współrzędne x, y dla punktu, to procesor APT zareaguje w następujący sposób:

- jeżeli poprzednio wystąpiła instrukcja ZSURF, punkt (x, y, 0) zostanie zrzutowany na płaszczyznę określoną w tej samej instrukcji w celu obliczenia wartości współrzędnej "z" definiowanego punktu,
- brak wcześniejszej specyfikacji instrukcji ZSURF oznacza, że za płaszczyznę występującą w tej instrukcji przyjmowana jest płaszczyzna OXY, czyli współrzędna "z" przyjmuje wartość 0.

Instrukcja ZSURF ma następującą postać:

$$\text{ZSURF/}\left\{\begin{array}{c}\underline{\text{PL}}\\ \text{a,b,c,d}\end{array}\right\}$$

gdzie: PL - nazwa poprzednio zdefiniowanej płaszczyzny,
a,b,c,d - współczynniki równania definiującego płaszczyznę (patrz pkt 5.5).

Rozpatrzmy następujący przykład:

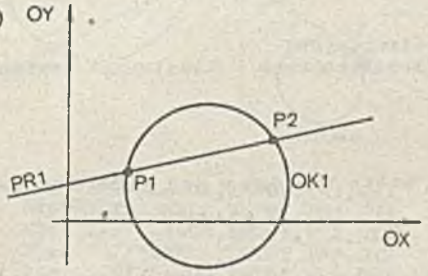
ZSURF/PLASZ
PUNKT=POINT/x,y

Przy definiowaniu punktu PUNKT obliczana jest wartość współrzędnej "z" przez zrzutowanie punktu (x,y,0) równolegle na płaszczyznę PLASZ.

Zastosowanie instrukcji ZSURF ilustruje również rys. 4.

W przypadku przedstawionym na rysunku 4 punkt P1 znajduje się na płaszczyźnie OXY (pod warunkiem, że przed definicją punktu P1 nie wystąpiła instrukcja ZSURF) , natomiast punkt P2 znajduje się na wcześniej zdefiniowanej płaszczyźnie PLASZ.

a)



b) P1=POINT/XSMALL,INTOF,PR1,OK1
ZSURF/PLASZ
P2=POINT/XLARGE,INTOF,PR1,OK1

Rys. 4. Zastosowanie płaszczyzny odniesienia instrukcji ZSURF
a) ilustracja graficzna
b) sekwencja instrukcji języka APT

Warto zauważyć, że instrukcja ZSURF ma znaczenie tylko przy definiowaniu niejawnej współrzędnej z dla punktu i jedynie w tym wypadku współrzędna z określona w instrukcji ZSURF zostaje umieszczona w postaci kanonicznej definicji (zob. pkt 8). W sposób pośredni instrukcja ZSURF ma również wpływ na definicje rozkładu punktów, gdyż są w nich wykorzystywane definicje pojedynczych punktów. Dla definicji innych elementów geometrycznych języka APT instrukcja ZSZRF nie ma żadnego znaczenia, chociaż w pewnych postaciach definicji (np. prostej czy okręgu) współrzędna z nie jest określona w sposób jawny. Wynika to ze specjalnego podejścia do elementów geometrycznych w systemie APT, co będzie szczegółowo omówione w dalszej części opracowania.

5.1. Definicja punktu

Położenie punktu w przestrzeni trójwymiarowej może być zdefiniowane kilkoma różnymi metodami. Każda definicja musi zawierać słowo kluczowe POINT, które jest wyróżnikiem tej grupy definicji geometrycznych.

Definiowanie punktu we współrzędnych prostokątnych

Punkt definiowany jest przez podanie jego współrzędnych prostokątnych. Definicja ma postać:

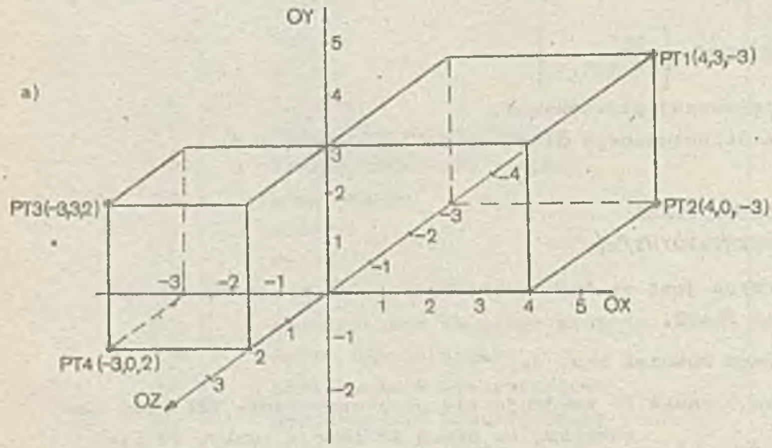
$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=POINT/}\left\{\begin{array}{c}\text{x,y,z}\\ \text{x,y}\end{array}\right\}$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego punktu,
x,y,z - są współrzędnymi punktu (mogą to być liczby lub zmienne, którym wcześniej zostały nadane określone wartości).

W przypadku podania jedynie współrzędnych x, y definicja bazuje na płaszczyźnie określonej w instrukcji ZSURF. Brak tej instrukcji spowoduje przyjęcie współrzędnej "z" równej 0.

Rys. 5 jest ilustracją definiowania punktów w układzie współrzędnych prostokątnych.

a)



b) PT1=POINT/4,3,-3
PT2=POINT/4,Ø,-3
PT3=POINT/-3,3,2
PT4=POINT/-3,Ø,2

Rys. 5. Przykłady definiowania punktów przez podanie współrzędnych:
a) punkty PT1-PT4 zdefiniowane we współrzędnych prostokątnych - ilustracja graficzna
b) instrukcje APT definiujące punkty

Definiowanie punktu przez przecięcie dwóch prostych

Warunkiem poprawności tej definicji jest, aby proste, które wchodzą w jej skład nie były równoległe.

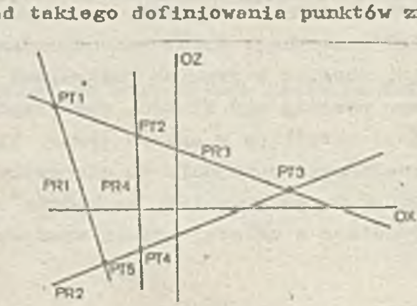
Postać tej instrukcji jest następująca:

NAZWA=POINT/INTOF,PR1,PR2

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego punktu,
INTOF - modyfikator oznaczający przecięcie,
PR1,PR2 - nazwy wcześniej zdefiniowanych prostych lub definicje zagnieżdżone prostych (określenie definicji zagnieżdżonej - pkt 7).

Przykład takiego definiowania punktów znajduje się na rys. 6.

a)



b) PT1=POINT/INTOF,PR1,PR3
PT2=POINT/INTOF,PR3,PR4
PT3=POINT/INTOF,PR2,PR3
PT4=POINT/INTOF,PR2,PR4
PT5=POINT/INTOF,PR1,PR2

Rys. 6. Przykłady definiowania punktów jako przecięcia prostych:
a) punkty PT1-PT5 definiowane jako przecięcie dwóch prostych
b) instrukcje APT definiujące punkty

Definiowanie punktu będącego przecięciem prostej z okręgiem

Do zdefiniowania punktu w ten sposób, konieczne jest, aby zbiór punktów wspólnych prostej i okręgu nie był pusty,co zachodzi gdy:

- prosta ma z okręgiem dwa punkty wspólne,
- prosta jest styczną do okręgu.

W pierwszym przypadku, w celu uzyskania jednoznaczności definicji, należy wskazać, który z dwóch punktów ma być wzięty pod uwagę. Jest to realizowane przy pomocy jednego z czterech modyfikatorów:

XLARGE, XSMALL, YLARGE, YSMALL

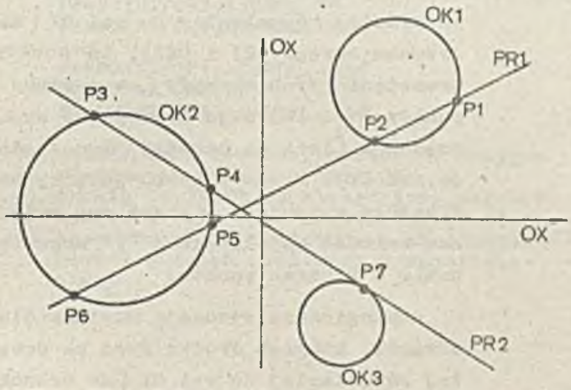
W drugim przypadku, tzn. gdy prosta jest styczna do okręgu, nie jest istotne, który z tych modyfikatorów wystąpi.

Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA}=POINT/\left\{\begin{array}{l}XLARGE\\XSMALL\\YLARGE\\YSMALL\end{array}\right\}, INTOF, \underline{PR}, \underline{OK}$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego punktu,
XLARGE,XSMALL - są modyfikatorami oznaczającymi wybór punktu odpowiednio o większej lub mniejszej wartości współrzędnej x,
YLARGE,YSMALL - są modyfikatorami o znaczeniu analogicznym, jak XLARGE i XSMALL, dotyczą jednak współrzędnej y,
INTOF - modyfikator oznaczający przecięcie
PR - nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub definicja zagnieżdżona prostej,
OK - nazwa zdefiniowanego wcześniej okręgu lub zagnieżdżona definicja okręgu.

a)



b) P1=POINT/XLARGE,INTOF,PR1,OK1
P2=POINT/XSMALL,INTOF,PR1,OK1
P3=POINT/YLARGE,INTOF,PR2,OK2
P4=POINT/YSMALL,INTOF,PR2,OK2
P5=POINT/XLARGE,INTOF,PR1,OK2
P6=POINT/XSMALL,INTOF,PR1,OK2
P7=POINT/XSMALL,INTOF,PR2,OK3

Rys. 7. Przykłady definiowania punktów na przecięciu prostej z okręgiem:
a) punkty PT1-PT7 wyznaczone przez przecięcie prostej z okręgiem - ilustracja graficzna
b) instrukcje APT definiujące punkty jako przecięcie prostej z okręgiem

Rys. 7 jest ilustracją definiowania punktów powstałych w wyniku przecięcia prostej z okręgiem. W tym wypadku punkty powstają w wyniku przecięcia trzech rozłącznych okręgów z dwoma prostymi.

Instrukcje definiujące, które występują w części b) rysunku obrazują zastosowanie modyfikatorów w celu rozróżnienia tych punktów.

Należy zauważyć, że istnieje tu pewna dowolność w stosowaniu modyfikatorów określających większą lub mniejszą wartość współrzędnych x i y.

Weźmy np. punkty P1 i P2 będące przecięciem okręgu OK1 i prostej PR1. W definicji zwrócono uwagę na współrzędne "x" tych punktów uwzględniając modyfikator XSMALL dla punktu P2 oraz modyfikator XLARGE dla punktu P1.

Możliwe byłyby również definicje opierające się na różnicy wartości współrzędnych "y" dla tych punktów. W tym przypadku definicje te miałyby następującą postać:

P1=POINT/YLARGE,INTOF,PR1,OK1
P2=POINT/YSMALL,INTOF,PR1,OK1

Punkt P7 będący punktem styczności prostej PR2 i okręgu OK3 może być zdefiniowany czterema sposobami, tzn. przy użyciu każdego z modyfikatorów. W tym wypadku modyfikator określający większą, czy mniejszą wartość współrzędnych wymagany jest jedynie w celu zachowania jednolitej postaci instrukcji.

Definiowanie punktu jako przecięcia dwóch okręgów

Ogólna postać tej definicji jest następująca:

$$\underline{NAZWA}=POINT/\left\{\begin{array}{l}XLARGE\\XSMALL\\YLARGE\\YSMALL\end{array}\right\}, INTOF, \underline{OK1}, \underline{OK2}$$

gdzie: NAZWA - nazwa definiowanego punktu

XLARGE,XSMALL - modyfikatory oznaczające wybór punktu odpowiednio o większej lub mniejszej wartości współrzędnej x,

YLARGE,YSMALL - modyfikatory oznaczające wybór punktu odpowiednio o większej lub mniejszej wartości współrzędnej y,

INTOF - modyfikator oznaczający przecięcie,

OK1,OK2 - nazwy zdefiniowanych wcześniej okręgów lub zagnieżdżone definicje okręgów.

Okręgi występujące w tej definicji nie mogą być oczywiście rozłączne.

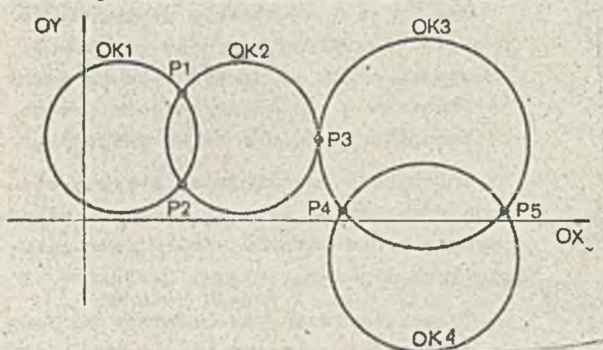
Analogicznie do definicji za pomocą prostej i okręgu, modyfikatory XLARGE,XSMALL,YLARGE, YSMALL umożliwiają jednoznaczne wyznaczenie punktu. Gdy okręgi są względem siebie styczne (tzn. mają tylko jeden punkt wspólny) wybór jakiegokolwiek z tych modyfikatorów nie ma oczywiście żadnego znaczenia. Należy jednak pamiętać o tym, aby jeden z tych modyfikatorów zawsze wystąpił w definicji.

Ilustracją tak zdefiniowanych punktów jest rys. 8. Zauważmy, że jeżeli środki okręgów leżą na prostej równoległej do osi OX (na rysunku okręgi OK1 i OK2), to punkty przecięcia tych okręgów (na rysunku punkty P1 i P2) mają identyczne współrzędne x (leżą na prostej równoległej do osi OY). W tym wypadku jedynie modyfikatory opisujące większą czy mniejszą wartość współrzędnej "y" mogą stanowić o wyborze punktu.

Analogicznie sytuacja wygląda dla okręgów, których środki leżą na prostej równoległej do osi OY (na rysunku okręgu OK3 i OK4).

Natomiast dla punktu P3 będącego punktem styczności okręgów OK2 i OK3 nie jest istotny wybór rodzaju modyfikatora.

a)



b) P1=POINT/YLARGE,INTOF,OK1,OK2
P2=POINT/YSMALL,INTOF,OK1,OK2
P3=POINT/XSMALL,INTOF,OK2,OK3
P4=POINT/XSMALL,INTOF,OK3,OK4
P5=POINT/XLARGE,INTOF,OK3,OK4

Rys. 8. Przykłady definiowania punktów na przecięciu dwóch okręgów:
a) punkty P1-P5 definiowane jako przecięcie dwóch okręgów - ilustracja graficzna
b) instrukcje APT definiujące punkty jako przecięcie dwóch okręgów

Definiowanie punktu na okręgu przy zadanym kącie z osią OX

Instrukcja tego typu definiuje punkt leżący na okręgu OK tak, że prosta łącząca ten punkt ze środkiem okręgu tworzy z osią OX zadany kąt α. Ogólna postać tej instrukcji jest następująca:

NAZWA=POINT/OK,ATANGL, α

gdzie: NAZWA - nazwa definiowanego punktu,

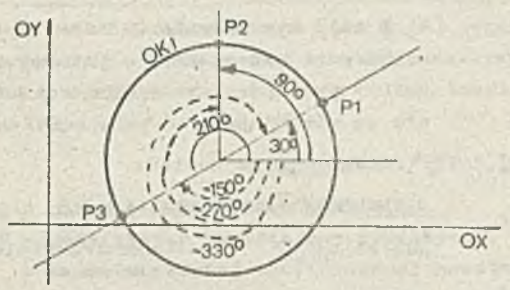
OK - nazwa wcześniej zdefiniowanego okręgu lub zagnieżdżona definicja okręgu,

ATANGL - modyfikator określający, że następnym parametrem będzie kąt,

α - kąt wyrażony w stopniach i dziesiętnych częściach stopnia; stanowi on miarę z dodatnią półosią OX (miara dodatnia jest przeciwna do ruchu wskazówek zegara).

Należy zwrócić uwagę, że tak jak pokazuje to rys. 9, punkty definiowane tą instrukcją mogą mieć dwa rodzaje przedstawień: za pomocą kąta α lub kąta ($360^\circ - \alpha$).

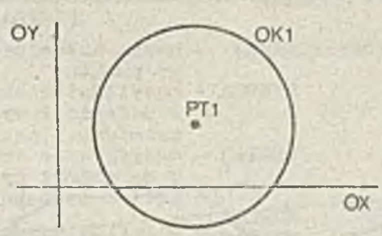
a)



b) P1=POINT/OK1,ATANGL,3Ø.Ø
P2=POINT/OK1,ATANGL,9Ø
P3=POINT/OK1,ATANGL,21Ø
lub
P1=POINT/OK1,ATANGL,-33Ø
P2=POINT/OK1,ATANGL,-27Ø
P3=POINT/OK1,ATANGL,-15Ø

Rys. 9. Przykłady definiowania punktów na okręgu, przy zadanych kątach z osią OX:
a) punkty P1,P2,P3 na okręgu przy zadanych kątach z osią OX - ilustracja graficzna
b) instrukcje APT definiujące poszczególne punkty w dwóch możliwych przedstawieniach

a)



b) PT1=POINT/CENTER,OK1

Rys. 10. Przykład definiowania punktu jako środka okręgu:
a) punkt PT1 zdefiniowany jako środek okręgu OK1 - ilustracja graficzna
b) instrukcja definiująca punkt jako środek okręgu

Definiowanie punktu będącego środkiem okręgu

Ogólna postać instrukcji:

NAZWA=POINT/CENTER,OK

gdzie: NAZWA - nazwa definiowanego punktu,
CENTER - modyfikator określający środek okręgu,
OK - nazwa zdefiniowanego wcześniej okręgu lub zagnieżdżona definicja okręgu.

Przykład zastosowania tej definicji zilustrowano na rys. 10.

Definiowanie punktu przez przecięcie prostej z krzywą drugiego stopnia

Warunkiem poprawności tego typu definicji jest, aby zbiór punktów wspólnych krzywej drugiego stopnia i prostej nie był pusty. Jednoznaczność wyboru odpowiedniego punktu zapewniają, podobnie jak poprzednio, modyfikatory YLARGE, XSMALL, YLARGE, YSMALL.

Definicja ma postać:

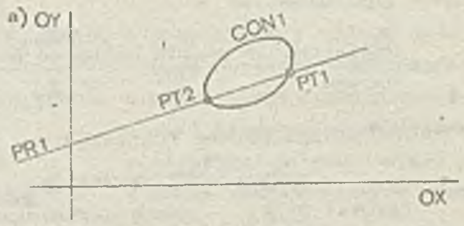
$$\text{NAZWA=POINT/}\left\{\begin{array}{l}\text{XLARGE}\\ \text{XSMALL}\\ \text{YLARGE}\\ \text{YSMALL}\end{array}\right\}\text{, INTOF,PR,KS}$$

gdzie: NAZWA - nazwa definiowanego punktu,
XLARGE, XSMALL, YLARGE, YSMALL - modyfikatory określające wybór punktu
INTOF - modyfikator oznaczający przecięcie,
PR - nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub zagnieżdżona definicja prostej
KS - nazwa wcześniej zdefiniowanej krzywej drugiego stopnia (krzywej stożkowej) lub zagnieżdżona definicja krzywej.

Rys. 11 ilustruje przypadek, gdy w wyniku przecięcia prostej PR1 z krzywą drugiego stopnia CON1 otrzymujemy dwa punkty PT1 i PT2.

Instrukcje definiujące zawierają modyfikatory odnoszące się do współrzędnej "x". Te same punkty można zdefiniować również za pomocą modyfikatorów dotyczących współrzędnej "y", w następujący sposób:

PT1=POINT/YLARGE,INTOF,PR1,CON1
PT2=POINT/YSMALL,INTOF,PR1,CON1



b) PT1=POINT/XLARGE,INTOF,PR1,CON1
PT2=POINT/XSMALL,INTOF,PR1,CON1

Rys. 11. Przykład definiowania punktów przez przecięcie prostej z krzywą stożkową:
a) punkty PT1 i PT2 wyznaczone przez przecięcie prostej PR1 z krzywą stożkową CON1 - ilustracja graficzna
b) instrukcje APT definiujące zilustrowane punkty

Punkt wyznaczony przez przecięcie się trzech płaszczyzn

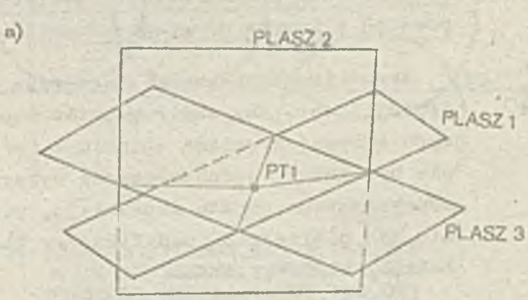
W celu zapewnienia jednoznaczności definicji musi być spełniony warunek, że żadne dwie płaszczyzny występujące w definicji nie są równoległe.

Definicja ma postać:

NAZWA=POINT/INTOF,PL1,PL2,PL3

gdzie: NAZWA - nazwa definiowanego punktu
INTOF - modyfikator oznaczający przecięcie,
PL1,PL2,PL3 - nazwy zdefiniowanych wcześniej płaszczyzn lub zagnieżdżone definicje płaszczyzn.

Rys. 12 ilustruje wyznaczanie punktu jako przecięcia trzech płaszczyzn.



b) PT1=POINT/INTOF,PLASZ1,PLASZ2,PLASZ3

Rys. 12. Przykład definiowania punktu na przecięciu trzech płaszczyzn:
a) wyznaczenie punktu PT1 jako przecięcia trzech płaszczyzn PLASZ1, PLASZ2,PLASZ3 - ilustracja graficzna
b) instrukcja APT definiująca punkt

Definiowanie punktu we współrzędnych biegunowych

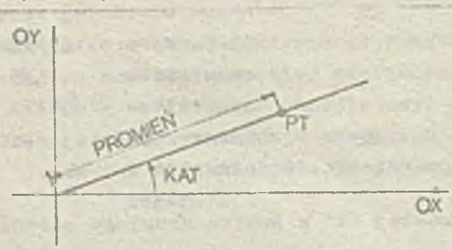
W tym wypadku możliwe są dwie postacie definicji:

1) NAZWA=POINT/RTHETA, $\begin{Bmatrix} \text{XYPLAN} \\ \text{YZPLAN} \\ \text{ZXPLAN} \end{Bmatrix}$, r, α

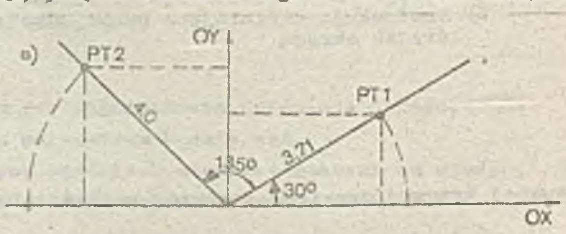
2) NAZWA=POINT/THETAR, $\begin{Bmatrix} \text{XYPLAN} \\ \text{YZPLAN} \\ \text{ZXPLAN} \end{Bmatrix}$, α, r

gdzie: NAZWA - nazwa aktualnie definiowanego punktu,
RTHETA - modyfikator określający, że w definicji wystąpi najpierw promień, a potem kąt,
THETAR - modyfikator określający, że w definicji wystąpi najpierw kąt, a następnie promień,
XYPLAN, YZPLAN, ZXPLAN - modyfikatory określające, na której płaszczyźnie układu współrzędnych znajduje się definiowany punkt,
r - długość promienia,
α - kąt wyrażony w stopniach i dziesiątych częściach stopnia.

Ogólną ilustrację tej definicji obrazuje rys. 13; przykład konkretnego zastosowania znajduje się na rys. 14.



Rys. 13. Ilustracja definiowania punktu we współrzędnych biegunowych na płaszczyźnie XY



b) PT1=POINT/RTHETA, XYPLAN,3.71,3Ø
PT2=POINT/THETAR,XYPLAN,135.Ø,4

Rys. 14. Przykłady definiowania punktów we współrzędnych biegunowych:
a) punkty PT1 i PT2 zdefiniowane we współrzędnych biegunowych - ilustracja graficzna
b) instrukcje definiujące punkt we współrzędnych biegunowych na płaszczyźnie XY.

Definiowanie punktu na płaszczyźnie XY jako przecięcie prostej i walca tabelarycznego

Z definicji walca tabelarycznego (pkt 5.18) wynika,że jest on powierzchnią utworzoną przez przesunięcie prostej wzdłuż pewnej krzywej przestrzennej. Wobec tego możliwe jest też istnienie kilku punktów przecięcia prostej z walcem tabelarycznym. Punkty te definiowane są przez instrukcję następującej postaci:

NAZWA=POINT/INTOF,PR,WT,PT

gdzie: NAZWA - nazwa definiowanego punktu,
INTOF - modyfikator określający przecięcie,
PR - nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub definicja zagnieżdżona prostej,
WT - nazwa wcześniej zdefiniowanego walca tabelarycznego,
PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu.

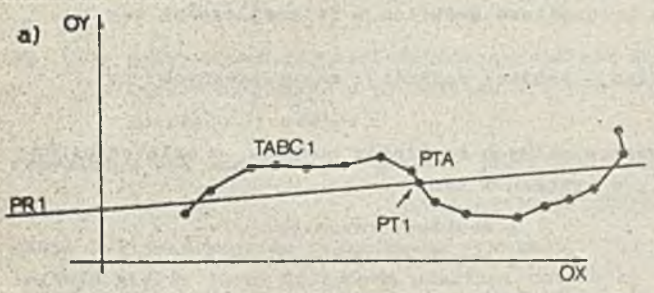
Uwaga: Nie można określać walca tabelarycznego stosując definicję zagnieżdżoną.

Wyróżniony w definicji punkt PT należy do zbioru punktów walca tabelarycznego WT i umożliwia jednoznaczne określenie definiowanego punktu.

Punkt PT musi być tak dobrany, aby leżał najbliżej definiowanego punktu przecięcia (lub styczności) walca tabelarycznego WT z prostą PR.

Należy przy tym wziąć pod uwagę dwa ograniczenia:
1) punkt PT musi być identyczny (z dokładnością do 0.02 dla każdej współrzędnej) z jednym z punktów definiujących walec tabelaryczny WT,
2) punkt PT nie może być oddalony od odcinka, na którym znajduje się definiowany punkt o więcej niż trzy odcinki.

Przykład tak zdefiniowanego punktu przedstawia rys. 15.

a)


b) PT1=POINT/INTOF,PR1,TABC1,PTA

Rys. 15. Przykład definiowania punktu jako przecięcia prostej i walca tabelarycznego:
a) punkt PT1 wyznaczony przez przecięcie prostej PR1 i walca tabelarycznego TABC1 - ilustracja graficzna
b) instrukcja definiująca zilustrowany punkt

Ponieważ system APT używa punktu PT (podanego w definicji) do znalezienia odcinka walca tabelarycznego, na którym znajduje się punkt wspólny (tzn. punkt przecięcia lub styczny) tego walca z prostą, więc właściwy wybór punktu PT może znacznie skrócić czas obliczeń. Optymalne, ze względu na powyższy warunek, jest podanie najbliższego punktu walca tabelarycznego przed napotkaniem punktu wspólnego, np. jeżeli punkt przecięcia lub styczności leży między siódmym a ósmym punktem podanym w definicji walca tabelarycznego, to optymalne jest określenie siódmego punktu jako punktu PT.

Ponadto punkt PT musi być podany w tym samym układzie odniesienia, w którym został zdefiniowany tabelaryczny walec (por. modyfikator TRFORM w definicji walca tabelarycznego). Jest to spowodowane faktem, że walec tabelaryczny nie może być przenoszony z jednego układu odniesienia do drugiego (por. pkt 6 - instrukcja REFSYS).

Punkt wyznaczony jako n-ta pozycja w rozkładzie punktów

Wprawdzie opis rozkładu punktów zamieszczony jest w następnym punkcie (5.2), ale ogólną postać definiowania punktu przez określenie jego pozycji w rozkładzie można już tu podać. Postać ta jest następująca:

NAZWA=POINT/RP,n

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego punktu,
RP, - jest nazwą zdefiniowanego wcześniej rozkładu punktów,
n - liczba naturalna określająca kolejny punkt w definicji uporządkowanego rozkładu punktów.

Przykład

Instrukcja PT1=POINT/PAT1,7

definiuje punkt PT1 jako siódmy punkt w rozdkładzie punktów PAT1.

Punkt podany w postaci definicji zagnieżdżonej

Ponieważ szczegółowy opis zarówno samej zasady definiowania zagnieżdżonego, jak i poszczególnych definicji zagnieżdżonych znajduje się w punkcie 7, dlatego też i definiowanie punktu w tej postaci będzie opisane szczegółowo dopiero w punkcie 7.

5.2. Definicja rozkładu punktów

Rozkładem punktów nazywany jest zbiór złożony z pewnej liczby punktów (w szczególnym wypadku z jednego punktu). Maksymalna liczba punktów definiowanych przez instrukcję rozkładu punktów wynosi 330.

W pewnych wypadkach za pomocą jednej instrukcji nie można zdefiniować dokładnie 330 punktów. W najgorszym wypadku maksymalna liczba punktów, jaką można zdefiniować za pomocą jednej instrukcji wynosi 230.

W takiej sytuacji należy podzielić zbiór punktów na dwa rozłączne zbiory, które zostaną zdefiniowane jako dwa rozkłady punktów, a następnie połączyć je w jeden zbiór - za pomocą definicji nieregularnego rozkładu punktów (będzie ona szczegółowo omówiona w dalszej części tego punktu).

Definicje rozkładu punktów nie mogą być podane w postaci definicji zagnieżdżonych (por. pkt 7).

Poniżej będą podane formaty definicji dla poszczególnych rozkładów punktów, w zależności od rozmieszczenia punktów w zbiorze. Rozróżnia się w związku z tym:

- rozkłady liniowe,
- rozkłady kołowe,
- rozkłady równoległe,
- rozkłady nieregularne.

Rozpatrzmy kolejno poszczególne rodzaje rozkładów punktów. Każda definicja musi zawierać słowo kluczowe PATERN, które jest wyróżnikiem tego typu definicji.

Liniowy rozkład punktów

Liniowy rozkład punktów definiuje zbiór punktów leżących na linii prostej. Rozkład tego typu można zdefiniować za pomocą jednej z czterech niżej opisanych instrukcji.

- Definiowanie liniowego rozkładu punktów przez podanie punktu początkowego, punktu końcowego i określenie ilości równoodległych punktów.

Punkty początkowy i końcowy są wliczane do ogólnej liczby punktów. Definicja taka ma postać:

NAZWA=PATERN/LINEAR,PT1,PT2,n

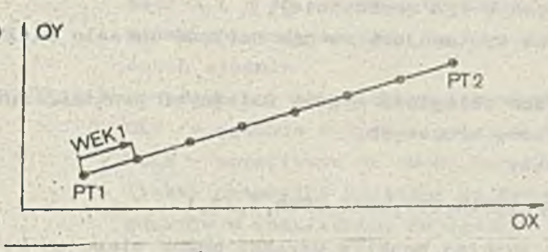
gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego rozkładu punktów,
LINEAR - modyfikator określający ułożenie punktów na linii prostej,
PT1,PT2 - nazwy wcześniej zdefiniowanych punktów lub definicje zagnieżdżone punktów,
n - liczba naturalna z przedziału < 1,330 > określająca liczbę punktów należących do liniowego rozkładu.

Rozpatrzmy przykład rozkładu punktów wyznaczonego przez punkt początkowy PT1, punkt końcowy PT2 i zadaną liczbę punktów równą 8:

ROZKL1=PATERN/LINEAR,PT1,PT2,8

Przykład ten jest zilustrowany na rys. 16

a)



b) ROZKL1=PATERN/LINEAR,PT1,PT2,8
ROZKL1=PATERN/LINEAR,PT1,WEK1,8
ROZKL1=PATERN/LINEAR,PT1,WEK1,INCR,7,AT,1

Rys. 16. Przykład definiowania liniowego rozkładu punktów:
a) rozkład liniowy ROZKL1 definiowany przez punkt początkowy PT1 oraz przez:
A. punkt końcowy PT2 i liczbę punktów rozkładu - 8
B. kierunek prostej, stałą odległość i liczbę punktów
C. kierunek prostej, liczbę kroków i wartość przyrostu krokowego
b) instrukcje APT definiujące rozkład punktów w każdej z wymienionych wyżej postaci

- Definiowanie rozkładu liniowego punktów przez podanie punktu początkowego, wektora kierunkowego oraz ogólnej liczby równoodległych punktów z uwzględnieniem punktu początkowego.

Wektor kierunkowy określa odległość między dwoma kolejnymi punktami oraz kierunek wyznaczania kolejnych punktów.

Definicja taka ma postać:

NAZWA=PATERN/LINEAR,PT1,WE,n

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego rozkładu punktów,
LINEAR - modyfikator określający liniowe ułożenie punktów,
PT1 - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,
WE - nazwa wcześniej zdefiniowanego wektora lub zagnieżdżona definicja wektora,
n - liczba naturalna z przedziału < 1,330 > określająca liczbę punktów należących do rozkładu liniowego.

Przykładem tak określonego rozkładu jest:

ROZKL1=PATERN/LINEAR,PT1,WEK1,8

gdzie PT1 jest punktem początkowym rozkładu, WEK1 jest wektorem określającym kierunek i odległość między dwoma kolejnymi punktami rozkładu, a liczba 8 określa liczbę punktów zawartych w definiowanym rozkładzie. Ilustracja tego przykładu znajduje się również na rys. 16.

- Definiowanie rozkładu liniowego przez zadanie punktu początkowego, wektora kierunkowego, liczby kroków i stałej odległości.

Wektor kierunkowy określa w tym wypadku jedynie kierunek, wzdłuż którego wyznaczane są kolejne punkty. Liczba kroków określa liczbę operacji polegających na wyznaczaniu kolejnego punktu na podstawie ostatnio wyznaczonego punktu, kierunku wyznaczania punktów oraz odległości między sąsiednimi punktami.

Przy zadanej liczbie kroków (np. k) otrzymuje się liczbę punktów rozkładu o jeden większą (czyli k+1).

Definicja ma postać:

NAZWA=PATERN/LINEAR,PT,WE,INCR,n,AT,i[,INCR,n,AT,i]

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego rozkładu punktów,
LINEAR - modyfikator określający liniowe ułożenie punktów,
PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,
WE - nazwa wcześniej zdefiniowanego wektora lub zagnieżdżona definicja wektora,

INCR - modyfikator określający, że wartość kroku jest podawana w formie przyrostowej

n - liczba naturalna z przedziału <1,329> określająca liczbę kroków wymaganych do zdefiniowania danego rozkładu (liczba ta jest o jeden mniejsza od liczby punktów występujących w tym rozkładzie),

AT - modyfikator określający, że występująca za nim wartość określa wielkość kroku (przyrost krokowy),

i - liczba naturalna określająca odległość między kolejnymi punktami rozkładu wyrażona w liczbie przyrostów krokowych.

Przykładem tak zdefiniowanego rozkładu jest:

ROZKL1=PATERN/LINEAR,PT1,WEK1,INCR,7,AT,1

Rys. 16 obrazuje fakt, że ten sam liniowy rozkład punktów uzyskać można stosując którąkolwiek z wyżej opisanych instrukcji definiujących.

- Definiowanie rozkładu liniowego przez podanie punktu początkowego, wektora kierunkowego i długości kolejnych kroków.

W tej postaci definicji podawana jest długość każdego kolejnego kroku. Liczba parametrów określających długość kroku wyznacza liczbę kroków definiowanego rozkładu. Liczba kroków rozkładu jest o 1 mniejsza od liczby punktów występujących w rozkładzie. Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA}=PATERN/LINEAR,\underline{PT},\underline{WE},INCR,i_1,i_2,\ldots,i_n$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego liniowego rozkładu punktów,

LINEAR - modyfikator określający liniowe ułożenie punktów,

PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżoną definicją punktu,

WE - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego wektora lub zagnieżdżoną definicją wektora,

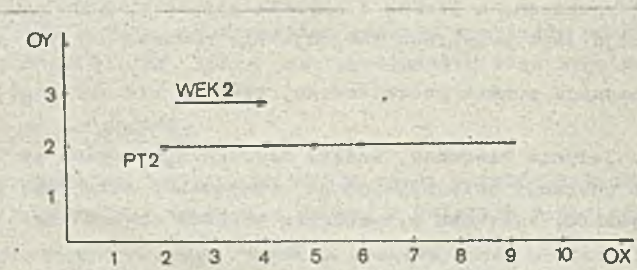
INCR - modyfikator określający, że wartość kroku podawana jest w formie przyrostowej,

$i_1,i_2,\ldots,i_n$ - długości kolejnych kroków w kierunku wektora.

Należy zauważyć, że n jest liczbą kroków przy definiowaniu rozkładu liniowego, natomiast n+1 jest liczbą punktów w definiowanym rozkładzie liniowym.

Przykład zilustrowany jest na rys. 17.

a)



b ROZKL2=PATERN/LINEAR,PT2,WEK2,INCR,2,1,1,3

Rys.17. a) rozkład liniowy ROZKL2 zdefiniowany przez zadanie punktu początkowego PT2, wektora kierunkowego WEK2 i kolejnych kroków w kierunku wektora
b) instrukcja APT definiująca zilustrowany rozkład punktów

Kołowy rozkład punktów

Kołowy rozkład punktów pozwala zdefiniować zbiór punktów leżących na jednym okręgu. W definiowaniu rozkładu kołowego należy dokonać wyboru kierunku. Realizują to modyfikatory CLW i CCLW. Rozkład tego typu może być zdefiniowany przez jedną z trzech niżej opisanych instrukcji.

- Definiowanie rozkładu kołowego przez podanie okręgu, kąta początkowego i końcowego oraz liczby równoodległych punktów leżących na okręgu.

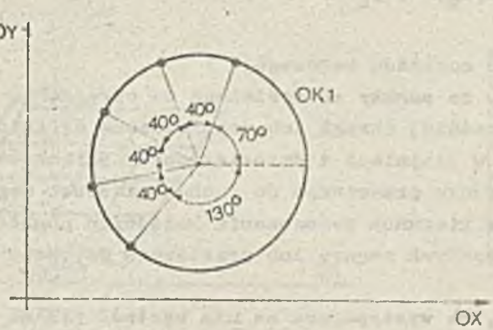
Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA}=PATERN/ARC,\underline{OK},\alpha,\beta,\begin{Bmatrix}CLW\\CCLW\end{Bmatrix},n$$

gdzie: NAZWA - jest nazwa definiowanego rozkładu kołowego,
ARC - modyfikator informujący, że punkty są ułożone na okręgu,
OK - nazwa wcześniej zdefiniowanego okręgu lub zagnieżdżona definicja okręgu,
α - kąt początkowy,
β - kąt końcowy
Kąty α i β są mierzone względem dodatniej półosi OX przeciwnie do ruchu wskazówek zegara; kąty te są podawane w stopniach i dziesiątych częściach stopnia
CLW, CCLW - modyfikatory określające kierunek definiowania punktów w rozkładzie:
CLW - zgodnie z ruchem wskazówek zegara,
CCLW - przeciwnie do ruchu wskazówek zegara,
n - liczba naturalna należąca do przedziału $<1,330>$ i określająca liczbę punktów w rozkładzie. Do ogólnej liczby punktów wliczane są również punkty początkowy i końcowy zadane przez podanie kątów α i β.

Przykład tak zdefiniowanego rozkładu punktów znajduje się na rys. 18.

a)



b)
```
ROZKL1=PATERN/ARC,OK1,7Ø,23Ø,CCLW,5
ROZKL2=PATERN/ARC,OK1,23Ø,7Ø,CLW,5
ROZKL3=PATERN/ARC,OK1,7Ø,CLW,INCR,2ØØ,4Ø,4Ø,4Ø
ROZKL4=PATERN/ARC,OK1,7Ø,CCLW,INCR,4,AT,4Ø
```

Rys.18.a) Pięciopunktowy kołowy rozkład punktów - ilustracja graficzna
b) Różne postacie instrukcji języka APT definiujących ten sam kołowy rozkład punktów

- Definiowanie rozkładu kołowego przez podanie okręgu, kąta początkowego i przyrostów kątowych wzdłuż okręgu.

Definicja ma postać:

NAZWA=PATERN/ARC,OK, α , $\left\{ \begin{matrix} CLW \\ CCLW \end{matrix} \right\}$,
INCR, β_1, β_2,..., β_n

gdzie: NAZWA - jest nazwa definiowanego rozkładu kołowego,
ARC - modyfikator określający, że punkty w rozkładzie są rozmieszczone na okręgu,
OK - nazwa zdefiniowanego wcześniej okręgu lub zagnieżdżona definicja okręgu,
α - kąt początkowy (mierzony w stopniach i dziesiątych częściach stopnia od dodatniej półosi OX w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara),
CLW - modyfikator określający kierunek definiowania punktów zgodnie z ruchem wskazówek zegara,
CCLW - modyfikator określający kierunek definiowania punktów przeciwnie do ruchu wskazówek zegara,
INCR - modyfikator określający, że wartości występujące za nim podawane są w formie przyrostowej,
$\beta_1,\beta_2,\dots,\beta_n$ - kąty (mierzone w stopniach i dziesiątych częściach stopnia) określające odległości kątowe między poszczególnymi punktami na okręgu w zadanym kierunku (CLW lub CCLW).

Definicja ta wyznacza (n+1) punktów na okręgu, przy czym realizowana jest sekwencyjnie, tzn. drugi punkt wyznaczany jest na podstawie punktu początkowego i pierwszego przyrostu, tzn. kąt $(\alpha \oplus \beta_1)$ wyznacza położenie punktu drugiego; trzeci punkt wyznaczony jest przez kąt

$(\alpha \oplus (\beta_1 + \beta_2))$; k-ty punkt wyznaczony jest przez kąt $(\alpha \oplus (\beta_1 + \beta_2 + \ldots + \beta_{k-1}))$, czyli

przez kąt $(\alpha \oplus \sum_{i=1}^{k-1} \beta_i)$, przy czym działanie $\oplus$ jest określone w następujący sposób:

$$a \oplus b = \begin{cases} a+b & \text{jeżeli w definicji wystąpił modyfikator CCLW} \\ a-b & \text{jeżeli w definicji wystąpił modyfikator CLW.} \end{cases}$$

Ilustracja takiego definiowania kołowego rozkładu punktów znajduje się na rys. 18.

- Definiowanie rozkładu kołowego przez podanie okręgu, kąta początkowego, liczby kroków wzdłuż okręgu i odległości kątowej między punktami.

Definicja ma postać:

$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=PATERN/ARC,}\underline{\text{OK}}, \alpha, \begin{Bmatrix} \text{CLW} \\ \text{CCLW} \end{Bmatrix}, \text{INCR}, i, \text{AT}, \beta \left[, \text{INCR}, i_1, \text{AT}, \beta_1 \right]$$

Element ujęty w nawiasy kwadratowe może być powtórzony. K-te wystąpienie tego elementu ma postać:

$$\left[, \text{INCR}, i_k, \text{AT}, \beta_k \right]$$

Ogólnie w powyższej definicji:

<u>NAZWA</u> - jest nazwą definiowanego rozkładu kołowego,

ARC - modyfikator określający, że punkty są rozłożone na okręgu,

<u>OK</u> - nazwa zdefiniowanego wcześniej okręgu lub zagnieżdżona definicja okręgu,

α - kąt początkowy mierzony w stopniach i dziesiątych częściach stopnia od dodatniej półosi OX w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara,

CLW,CCLW - modyfikatory określające kierunek wyznaczania kolejnych punktów, odpowiednio zgodnie z ruchem wskazówek zegara lub przeciwnie do ruchu wskazówek zegara,

INCR - modyfikator określający, że występująca za nim wartość podana jest w formie przyrostowej,

$i,(i_1,i_2,\ldots)$ - liczba naturalna określająca liczbę kroków (jest to liczba o 1 mniejsza od liczby punktów w rozkładzie),

AT - modyfikator określający, że występująca za nim wartość określa wielkość kroku,

$\beta,(\beta_1,\beta_2,\ldots)$ - kąt (mierzony w stopniach i dziesiątych częściach stopnia) określający odległość kątową do następnego punktu w rozkładzie.

Ilustracją takiego definiowania kołowego rozkładu punktów stanowi rys. 18.

<u>Równoległy rozkład punktów</u>

Równoległy rozkład punktów stanowi siatkę punktów zdefiniowaną przez ustalenie prostych równoległych do danego liniowego rozkładu punktów i zrzutowanie punktów z zadanego rozkładu liniowego na te proste. Kolejność punktów w równoległym rozkładzie punktów będzie ustalona według następujących reguł:

- pierwszy rozkład liniowy podany w liście definiuje "kolumnę", w której zostaje zachowana taka sama kolejność, w jakiej punkty występowały w tym rozkładzie,
- rozkład równoległy musi zawierać co najmniej jedną kolumnę równoległą do zadanej rozkładem liniowym. Punkty w kolumnach parzystych (drugiej, czwartej, itd.) uporządkowane są przeciwnie niż w kolumnach nieparzystych (rys. 20).

Rozpatrzmy rozkład punktów przedstawiony na rys. 20. Rozkład liniowy punktów ROZ1 składa się z punktów 1-7. Punkty 8-14 w drugim rzędzie uporządkowane są przeciwnie, natomiast punkty 15-21 uporządkowane są tak samo, jak punkty 1-7, itd.

W tym przykładzie punkty 1-7 wchodzą w skład pierwszej kolumny, druga kolumna składa się z punktów 8–14, itd.

Istnieją cztery sposoby definiowania równoległych rozkładów punktów:

- Równoległy rozkład punktów wyznaczony przez dwa wcześniej zdefiniowane liniowe rozkłady punktów.

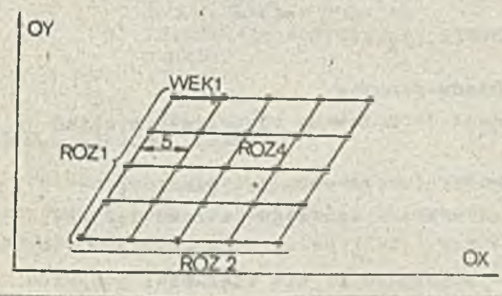
  Ogólna postać tej definicji jest następująca:

  NAZWA=PATERN/PARLEL,RP1,RP2

  gdzie: NAZWA – jest nazwą definiowanego rozkładu punktów,
  PARLEL – modyfikator określający, że jest definiowany równoległy rozkład punktów,
  RP1,RP2 – nazwy wcześniej zdefiniowanych liniowych rozkładów punktów
  RP1,RP2 muszą zawierać jeden punkt wspólny, który jest pierwszym albo ostatnim punktem w definiowanym równoległym rozkładzie punktów.

  Przykład takiego rozkładu znajduje się na rys. 19.

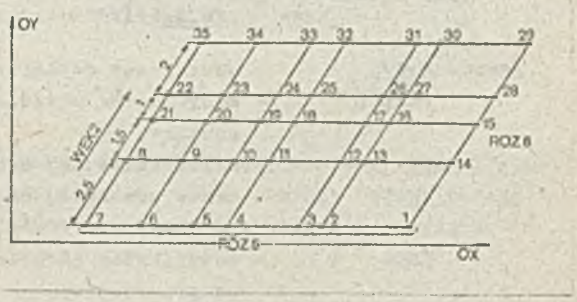
a)



b) ROZ4=PATERN/PARLEL,ROZ1,ROZ2
ROZ4=PATERN/PARLEL,ROZ1,WEK1,5
ROZ4=PATERN/PARLEL,ROZ1,WEK1,INCR,4,AT,5

Rys. 19. a) Równoległy rozkład punktów ROZ4 przedstawienie graficzne
b) Instrukcje definiujące równoległy rozkład punktów – różne metody definiowania tego samego rozkładu

a)



b) ROZ6=PATERN/PARLEL,ROZ5,WEK2,INCR,2.5,1.5,1,2

Rys. 20. a) Równoległy rozkład punktów ROZ6 generowany przez rozkład liniowy punktów (ROZ5), wektor (WEK2) i kolejne odstępy mierzone w kierunku wektora
b) Instrukcja definiująca równoległy rozkład punktów

- Równoległy rozkład punktów definiowany przez podanie rozkładu liniowego, wektora kierunkowego, odległości między kolumnami oraz całkowitej liczby kolumn.

  Definicja ma postać:

  NAZWA=PATERN/PARLEL,RP,WE,n

  gdzie: NAZWA – jest nazwą definiowanego rozkładu punktów,
  PARLEL – modyfikator określający, że jest definiowany równoległy rozkład punktów,
  RP – nazwa wcześniej zdefiniowanego liniowego rozkładu punktów,
  WE – nazwa wcześniej zdefiniowanego wektora lub zagnieżdżona definicja wektora,
  n – liczba naturalna określająca całkowitą liczbę kolumn.

  Przykład zastosowania tej instrukcji przedstawiono również na rys. 19.

- Równoległy rozkład punktów definiowany przez podanie rozkładu liniowego punktów, wektora kierunkowego, przyrostu w kierunku wektora, który określa odstęp między kolumnami oraz liczby tworzonych kolumn (bez uwzględnienia kolumny zadanej przez rozkład liniowy).

  Definicja ma postać:

  NAZWA=PATERN/PARLEL,RP,WE,INCR,n,AT,i

gdzie: NAZWA – jest nazwa definiowanego rozkładu punktów,
PARLEL – modyfikator określajacy, że jest definiowany równoległy rozkład punktów,
RP – nazwa wcześniej zdefiniowanego liniowego rozkładu punktów,
WE – nazwa wcześniej zdefiniowanego wektora lub zagnieżdżona definicja wektora,
INCR – modyfikator określajacy, że wielkości będą podawane w sposób przyrostowy,
n – liczba naturalna określająca, ile razy RP ma być powtórzony (przy zachowaniu zadanego kierunku i podanych odstępów),
AT – modyfikator określajacy, że następujacy po nim parametr podaje wielkość kroku,
i – liczba naturalna określajaca wielkość odstępu (przyrostu) podana w liczbie jednostek.

Ilustracja zastosowania tego typu instrukcji jest rys. 19.

- Równoległy rozkład punktów definiowany przez podanie liniowego rozkładu punktów, wektora kierunkowego i kolejnych odstępów między kolumnami mierzonych w kierunku wektora.

Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA}=PATERN/PARLEL,\underline{RP},\underline{WE},INCR,i_1,i_2,\dots,i_n$$

gdzie: NAZWA – jest nazwa definiowanego rozkładu punktów,
PARLEL – modyfikator określajacy, że jest definiowany równoległy rozkład punktów,
RP – nazwa wcześniej zdefiniowanego liniowego rozkładu punktów,
WE – nazwa wcześniej zdefiniowanego wektora lub zagnieżdżona definicja wektora,
INCR – modyfikator określajacy, że występujace po nim wielkości podawane są przyrostowo,
$i_1,i_2,\dots,i_n$ – odstępy (w przyjętych jednostkach) między kolumnami w kierunku wektora WE.

Przykład zastosowania instrukcji tego typu daje rys. 20.

Nieregularny rozkład punktów

Przez pojęcia nieregularnego rozkładu punktów rozumie się taki rozkład punktów, w którym nie wszystkie punkty leżą na jednej prostej lub na okręgu. Nieregularny rozkład punktów może być definiowany jedynie przez wcześniej zdefiniowane punkty lub rozkłady punktów.

Ogólna postać tej definicji jest następujaca:

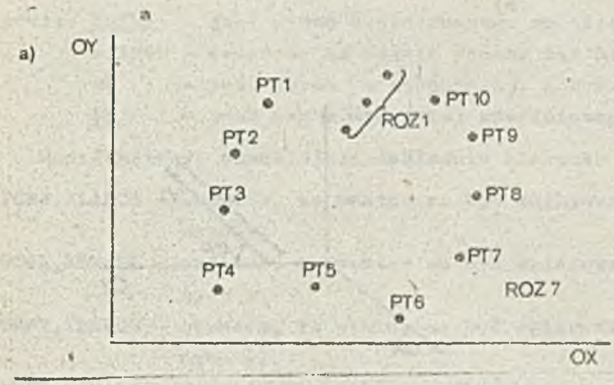
$$\underline{NAZWA}=PATERN/RANDOM,\left\{\begin{array}{c}\underline{RP}\\ \underline{PT}\end{array}\right\}\left[,\left\{\begin{array}{c}\underline{RP_i}\\ \underline{PT_i}\end{array}\right\}_{i=1}^{n}\right]$$

gdzie: NAZWA – jest nazwa definiowanego nieregularnego rozkładu punktów,
RANDOM – modyfikator określajacy, że jest definiowany nieregularny rozkład punktów,
$\underline{RP},\underline{RP_i}$ – nazwy wcześniej zdefiniowanych rozkładów punktów
$\underline{PT},\underline{PT_i}$ – nazwy wcześniej zdefiniowanych punktów lub zagnieżdżone definicje punktów.

Użyty w omówieniu instrukcji zapis oznacza, że

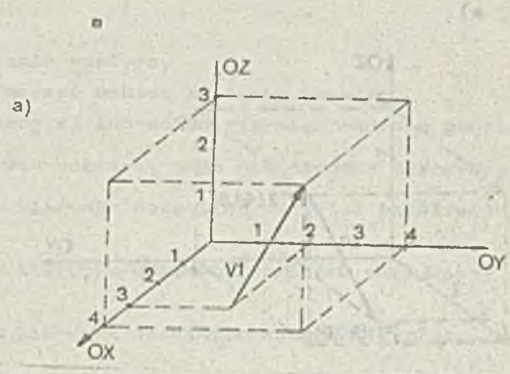
- musi wystąpić w definicji co najmniej jeden punkt lub rozkład punktów,
- kolejność wystąpienia punktów i rozkładów punktów, na których bazuje nieregularny rozkład punktów jest całkowicie dowolna.

Przykład zastosowania tego typu instrukcji znajduje się na rys. 21.



b) ROZ7=PATERN/RANDOM,ROZ1,PT10,PT9,
PT8,PT7,PT6,PT5,S,PT4,PT3,PT2,PT1

Rys. 21. a) Rozkład nieregularny ROZ7 utworzony przez dowolny zbiór punktów lub rozkładów punktów
b) Instrukcja definiująca rozkład punktów



b) V1=VECTOR/1,2,3

Rys. 22. Przykład definiowania wektora V w postaci jego składowych
a) ilustracja graficzna wektora
b) definicja wektora

5.3. Definicja wektora

Położenie wektora w przestrzeni trójwymiarowej może być zdefiniowane w różny sposób, zawsze jednak musi wystąpić słowo kluczowe VECTOR. W definicjach, w których nie będzie podana długość wektora, wektor ten jest traktowany jako jednostkowy, czyli o długości równej 1.

Wektor definiowany w postaci składowych

Wektor można definiować w postaci

NAZWA=VECTOR/x,y,z

gdzie: x,y,z – są składowymi wektora odpowiednio w kierunku osi OX, OY i OZ,
NAZWA – jest nazwą definiowanego wektora.

Przykład definiowania wektora tą metodą przedstawia rys. 22.

Wektor definiowany przez podanie punktów końcowych

Wektor można też zdefiniować przez określenie jego punktów końcowych, przy czym punkty te mogą być podane w postaci ich współrzędnych prostokątnych lub też w postaci nazw wcześniej zdefiniowanych punktów.

Definicja ma postać:

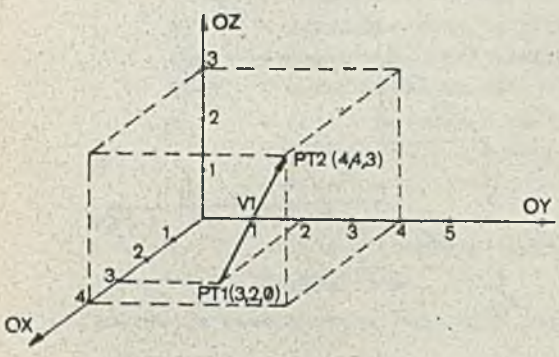
NAZWA=VECTOR/ { x1,y1,z1,x2,y2,z2 | PT1,PT2 }

gdzie: NAZWA – jest nazwą definiowanego wektora,
x1,y1,z1 – są współrzędnymi prostokątnymi pierwszego punktu,
x2,y2,z2 – są współrzędnymi prostokątnymi drugiego punktu,
PT1,PT2 – są nazwami wcześniej zdefiniowanych punktów lub definicjami zagnieżdżonymi punktów.

Zdefiniowany w ten sposób wektor jest skierowany od pierwszego do drugiego punktu.

Przykład definiowania wektora tą metodą przedstawia rys. 23. Zostały tam podane dwie alternatywne postacie definicji tego samego wektora — w postaci współrzędnych lub nazw punktów końcowych.

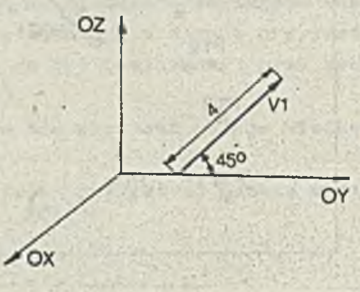
a)



b) V1=VECTOR/3,2,∅,4,4,3
V1=VECTOR/PT1,PT2

Rys. 23. Przykład definiowania wektora przez podanie współrzędnych punktów końcowych lub przez podanie punktów końcowych:
a) ilustracja graficzna wektora
b) alternatywne definicje wektora

a)



b) V1=VECTOR/LENGTH,4,ATANGL,45,YZPLAN

Rys. 24. Przykład definiowania wektora przez podanie jego długości i kąta nachylenia:
a) ilustracja graficzna wektora
b) definicja wektora

<u>Wektor definiowany przez długość i kąt</u>

Definicją tą można się posłużyć, gdy wektor leży w jednej z płaszczyzn XY, YZ, ZX. Definiuje się go wtedy przez podanie jego długości oraz kąta, który tworzy z jedną osią układu współrzędnych.

Tego typu definicja wektora ma postać:

$$\underline{NAZWA}=VECTOR/LENGTH,l,ATANGL,\alpha,\left\{\begin{matrix}XYPLAN\\YZPLAN\\ZXPLAN\end{matrix}\right\}$$

gdzie: <u>NAZWA</u> - jest nazwą definiowanego wektora,
LENGTH - oznacza, że jako następny parametr będzie podana długość wektora,
l' - jest długością wektora,
ATANGL - oznacza, że jako następny parametr będzie podany kąt nachylenia wektora,
α - jest kątem, który tworzy wektor z osią:
OX - przy podanym modyfikatorze XYPLAN,
OY - przy podanym modyfikatorze YZPLAN,
OZ - przy podanym modyfikatorze ZXPLAN.

Przykład definiowania wektora tą metodą przedstawia rys. 24.

<u>Wektor na płaszczyźnie XY tworzący pewien kąt z podaną prostą</u>

Wektor leżący na płaszczyźnie XY można zdefiniować podając kąt, który wektor ten ma tworzyć z określoną wcześniej prostą.

W tym wypadku ogólna definicja ma postać:

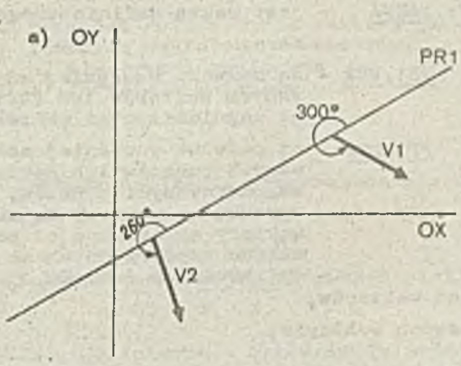
$$\underline{NAZWA}=VECTOR/ATANGL,\alpha,\underline{PR},\left[\begin{matrix}POSY\\NEGX\\POSY\\NEGY\\XLARGE\\XSMALL\\YLARGE\\YSMALL\end{matrix}\right]$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego wektora,
ATANGL - oznacza, że będzie podany kąt nachylenia wektora,
α - jest kątem (w stopniach), który ma tworzyć wektor z podaną prostą,
PR - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej prostej lub definicją zagnieżdżoną prostej.

Modyfikatory, określające dokładnie kierunek i zwrot wektora, mają następujące znaczenie:

POSX,XLARGE - oznacza, że wektor ma być skierowany w kierunku dodatnich wartości współrzędnych x,
NEGX,XSMALL - oznacza, że wektor ma być skierowany w kierunku ujemnych wartości współrzędnych x,
POSY,YLARGE - oznacza, że wektor ma być skierowany w kierunku dodatnich wartości współrzędnych y,
NEGY,YSMALL - oznacza, że wektor ma być skierowany w kierunku ujemnych wartości współrzędnych y.

Przykłady definiowania wektorów tą metodą przedstawia rys. 25. Jak widać, przy definiowaniu tego samego wektora można wykorzystać inną postać modyfikatora (np. dla wektora V_1 - POSX lub XLARGE).

a)



```
b) V1=VECTOR/ATANGL,3ØØ,PR1,POSX
   V1=VECTOR/ATANGL,3ØØ,PR1,XLARGE
   V2=VECTOR/ATANGL,26Ø,PR1,NEGY
   V2=BECTOR/ATANGL,26Ø PR1,YSMALL
```

Rys. 25. Przykłady definiowania wektora na płaszczyźnie XY tworzącego określony kąt z podaną prostą:
a) ilustracja graficzna położenia wektorów
b) definicje wektorów

Wektor definiowany jako wektor jednostkowy

Wektor można zdefiniować jako tzw. wektor jednostkowy dla danego wektora. Jest to wektor o tym samym kierunku i zwrocie, co dany wektor, lecz o długości równej 1.

Definicja ma następującą postać:

$$\text{NAZWA=VECTOR/UNIT,} \left\{ \begin{array}{l} x,y,z \\ \text{WE} \\ \text{PT} \end{array} \right\}$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego wektora jednostkowego,
UNIT - oznacza, że będzie definiowany wektor jednostkowy,
x,y,z - są składowymi wektora, dla którego chcemy zdefiniować wektor jednostkowy, odpowiednio względem osi OX, OY, OZ,
WE - jest nazwą lub definicją zagnieżdżoną wektora, dla którego chcemy zdefiniować wektor jednostkowy,
PT - jest nazwą lub definicją zagnieżdżoną punktu. Wektor, dla którego chcemy zdefiniować wektor jednostkowy w tym wypadku odpowiada wektorowi skierowanemu od początku układu współrzędnych do podanego punktu.

Wektor definiowany jako wekter pomnożony przez liczbę

Możliwe jest zdefiniowanie wektora jako iloczynu wcześniej zdefiniowanego wektora przez liczbę (tzn. wektora o niezmienionym kierunku lecz zmienionej długości i ewentualnie zwrocie).

Definicja ma następującą postać:

$$\text{NAZWA=VECTOR/s,TIMES,} \left\{ \begin{array}{l} \text{WE} \\ \text{PT} \end{array} \right\}$$

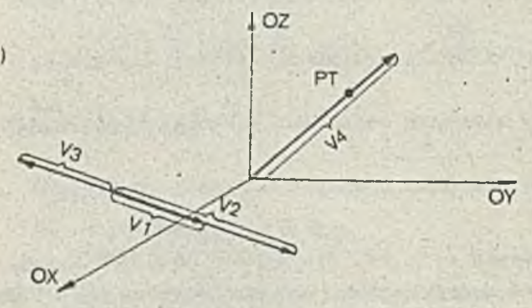
gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego wektora,
s - jest liczbą lub nazwą zmiennej o wcześniej określonej wartości, przez którą należy pomnożyć wektor,

WE - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego wektora lub definicją zagnieżdżoną wektora,

PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu. W tym wypadku za wektor jest uważany wektor skierowany od początku układu współrzędnych do wyspecyfikowanego punktu.

Przykłady definiowania wektorów tą metodą przedstawia rys. 26.

a)



b) V2=VECTOR/2,TIMES,V1
V3=VECTOR/-1,TIMES,V1
V4=VECTOR/1,5,TIMES,PT

Rys. 26. Przykłady definiowania wektorów w postaci wektora pomnożonego przez liczbę:
a) ilustracja graficzna
b) definicje wektorów
(V1 i PT są nazwami wcześniej zdefiniowanych odpowiednio wektora i punktu)

Wektor definiowany jako suma lub różnica dwóch wektorów

Wektor może być zdefiniowany jako suma lub różnica dwóch wcześniej zdefiniowanych wektorów.

Definicja ma następującą postać:

$$\text{NAZWA=VECTOR/}\left\{\begin{array}{l} \text{WE1,}\left\{\begin{array}{l}\text{PLUS}\\ \text{MINUS}\end{array}\right\}\text{, WE2} \\ \text{PT1,}\left\{\begin{array}{l}\text{PLUS}\\ \text{MINUS}\end{array}\right\}\text{, PT2}\end{array}\right\}$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego wektora,

WE1,WE2 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych wektorów lub definicjami zagnieżdżonymi wektorów,

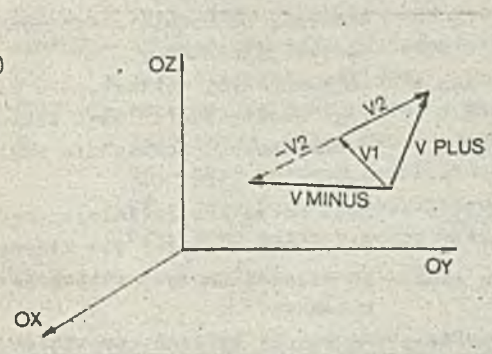
PT1,PT2 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych punktów lub definicjami zagnieżdżonymi punktów, w tym wypadku za wektory są uważane wektory skierowane od początku układu współrzędnych do wyspecyfikowanych punktów;

PLUS - oznacza, że będzie obliczana suma dwóch wektorów,

MINUS - oznacza, że będzie obliczana różnica dwóch wektorów.

Przykład definiowania wektora jako sumy i różnicy dwóch wektorów przedstawia rys. 27.

a)



b) VPLUS=VECTOR/V1,PLUS,V2
VMINUS=VECTOR/V1,MINUS,V2

Rys. 27. Przykład definiowania wektora jako sumy wektor VPLUS i różnicy wektor VMINUS dwóch wektorów:
a) ilustracja graficzna
b) definicje wektorów

Wektor definiowany jako iloczyn wektorowy dwóch wektorów

Wektor może być też zdefiniowany jako iloczyn wektorowy dwóch wektorów. Wektor wynikowy będzie prostopadły do płaszczyzny, na której leżą oba wektory, natomiast jego długość będzie równa iloczynowi długości tych wektorów i sinusa kąta między nimi. Zwrot wektora wynikowego ustalany jest zgodnie z tzw. "regułą prawej dłoni".

Definicja ma następującą postać:

$$\text{NAZWA=VECTOR/}\left\{\begin{array}{l}\text{WE1,CROSS, WE2}\\ \text{PT1,CROSS, PT2}\end{array}\right\}$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego wektora,

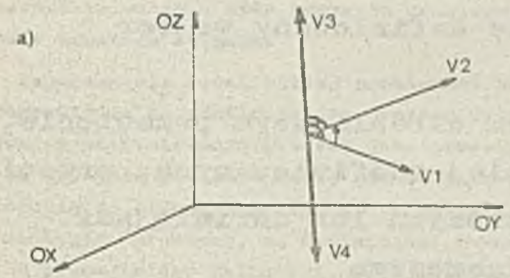
WE1,WE2 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych wektorów, bądź definicjami zagnieżdżonymi wektorów, dla których ma być obliczony iloczyn wektorowy,

PT1,PT2 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych punktów bądź definicjami zagnieżdżonymi punktów; w tym wypadku, za wektory są uważane wektory skierowane od początku układu współrzędnych do wyspecyfikowanych punktów,

CROSS - oznacza, że będzie obliczany iloczyn wektorowy wektorów.

Przykłady definiowania wektorów jako iloczynu wektorowego wektorów przedstawia rys. 28.

a)



b) V3=BECTOR/V1,CROSS,V2
V4=VECTOR/V2,CROSS,V1

Rys. 28. Przykład definiowania wektora jako iloczynu wektorowego wektorów:
a) ilustracja graficzna
b) definicje wektorów

Wektor definiowany jako prostopadły do danej płaszczyzny

Wektor można zdefiniować jako prostopadły do podanej płaszczyzny.

Definicja ma postać:

$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=VECTOR/PERPTO,}\underline{\text{PL}}\text{,}\left\{\begin{matrix}\text{POSX}\\ \text{POSY}\\ \text{POSZ}\\ \text{NEGX}\\ \text{NEGY}\\ \text{NEGZ}\end{matrix}\right\}$$

gdzie: NAZWA - jest nazwa definiowanego wektora,

PERPTO - oznacza, że będzie definiowany wektor prostopadły,

PL - jest nazwa wcześniej zdefiniowanej płaszczyzny lub definicja zagnieżdżona płaszczyzny.

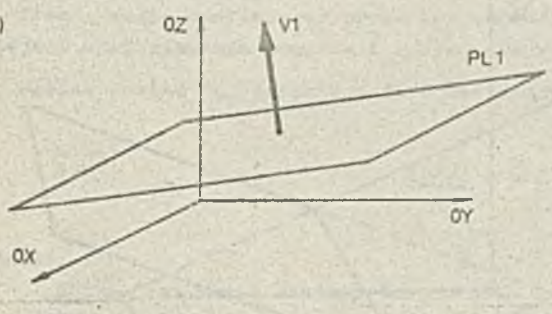
Modyfikatory dokładnie precyzujące kierunek i zwrot wektora mają następujące znaczenie:

POSX,POSY,POSZ - oznaczają, że wektor jest skierowany w kierunku dodatniej półosi odpowiednio OX, OY lub OZ,

NEGX,NEGY,NEGZ - oznaczają, że wektor jest skierowany w kierunku ujemnej półosi odpowiednio OX, OY, OZ.

Przykłady definiowania wektorów tą metodą przedstawiają rys. 29 i 30.

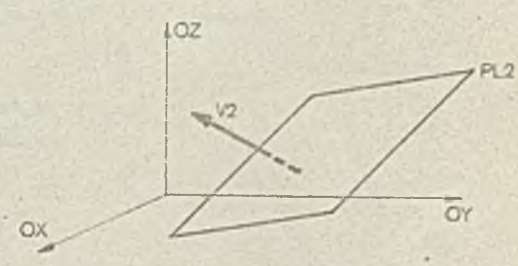
a)



b) V1=VECTOR/PERPTO,PL1,POSZ

Rys. 29. Przykład definiowania wektora jako wektora prostopadłego do płaszczyzny:
a) ilustracja graficzna
b) definicja wektora

a)



b) V2=VECTOR/PERPTO,PL2,NEGY

Rys. 30. Przykład definiowania wektora jako prostopadłego do płaszczyzny:
a) ilustracja graficzna
b) definicja wektora

Wektor definiowany jako równoległy do przecięcia dwóch danych płaszczyzn

Wektor można zdefiniować jako równoległy do przecięcia dwóch podanych płaszczyzn:

Definicja ma wtedy postać:

$$\text{NAZWA=VECTOR/PARLEL,INTOF,PL1,PL2,}\begin{Bmatrix}\text{POSX}\\ \text{POSY}\\ \text{POSZ}\\ \text{NEGX}\\ \text{NEGY}\\ \text{NEGZ}\end{Bmatrix}$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego wektora,

PARLEL - oznacza, że będzie definiowany wektor równoległy,

INTOF - jest modyfikatorem określającym przecięcie,

PL1,PL2 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych, przecinających się płaszczyzn lub definicjami zagnieżdżonymi płaszczyzn

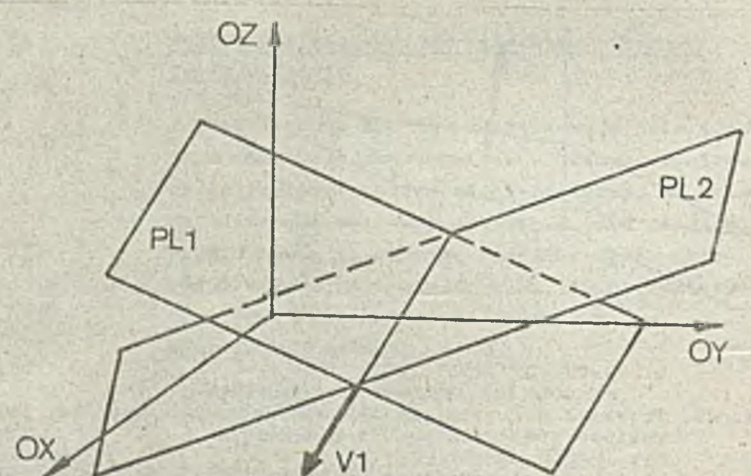
Modyfikatory dokładnie precyzujące kierunek i zwrot wektora mają następujące znaczenie:

POSX,POSY,POSZ - oznaczają, że wektor ma być skierowany w kierunku dodatniej półosi odpowiednio OX,OY,OZ,

NEGX,NEGY,NEGZ - oznaczają, że wektor ma być skierowany w kierunku ujemnej półosi odpowiednio OX, OY, lub OZ

Przykład definiowania wektora tą metodą przedstawia rys.31.

a)



b) V1=VECTOR/PARLEL,INTOF,PL1,PL2,POSX

Rys.31. Przykład definiowania wektora jako równoległego do przecięcia dwóch płaszczyzn:
a) ilustracja graficzna b) definicja wektora

5.4. Definicja prostej

Zauważmy, że system APT traktuje proste oraz krzywe płaskie (takie jak okrąg, elipsa, hiperbola, krzywe II i IV stopnia) w sposób specjalny, a mianowicie programista definiuje prostą, natomiast system APT traktuje tę prostą jako płaszczyznę prostopadłą do płaszczyzny XY, która zawiera definiowaną prostą. Podobnie jest z okręgiem, który jest traktowany przez system jako powierzchnia walcowa oraz krzywych drugiego i czwartego stopnia, które są traktowane jako powierzchnie drugiego stopnia.

Zajmiemy się teraz bliżej problemami związanymi z definiowaniem prostej. System APT pozwala programiście na zdefiniowanie prostej leżącej na płaszczyźnie XY wieloma sposobami. Umożliwia również zdefiniowanie prostej jako przecięcia dwóch płaszczyzn, jednak programista w każdym z tych wypadków powinien sobie zdawać sprawę, że w rzeczywistości definiuje taką płaszczyznę prostopadłą do płaszczyzny XY, która zawiera prostą. W rzeczywistości instrukcje nazywane w opisie definicjami prostych, są definicjami pewnej klasy płaszczyzn. Warto je jednak wyodrębnić w postaci pewnej klasy definicji, wyróżnianych za pomocą słowa kluczowego LINE, gdyż znacznie ułatwia to definiowanie kształtu geometrycznego części na płaszczyźnie XY, a w czym nie umniejsza ogólności rozważań. W praktyce bowiem kształt części definiujemy właśnie na płaszczyźnie XY i gdy jest to konieczne, dokonujemy odpowiedniego przekształcenia układu współrzędnych (np. przez obrót czy też przesunięcie) aby uzyskać definicję kształtu części w innej płaszczyźnie układu współrzędnych. Reasumując,na etapie definiowania kształtu części w zupełności wystarczające jest traktowanie "prostych" systemu APT jako prostych leżących na płaszczyźnie XY. Natomiast należy sobie zdawać sprawę, że są one płaszczyznami prostopadłymi do płaszczyzny XY, opisywanymi równaniem ogólnym (zob. pkt 8 - postać kanoniczna prostej)

$$Ax + By + Cz - D = 0 , \qquad \text{gdzie } C = 0$$

na etapie wykorzystywania instrukcji ruchu narzędzia (zostaną one omówione w części II niniejszego opracowania), bądź też przy przekształcaniu układu współrzędnych (por. rozdz.6 - Instrukcja REFSYS).

Prosta łącząca dwa zadane punkty

Prostą można zdefiniować przez bezpośrednie podanie współrzędnych dwóch punktów lub też wcześniejsze zdefiniowanie punktów i operowanie w definicji nazwami tych punktów.

Ogólna postać tej definicji jest następująca

$$\underline{NAZWA} = LINE/\begin{cases} x1,y1,z1,x2,y2,z2 \\ x1,y1,x2,y2 \\ \underline{PT1},\underline{PT2} \end{cases}$$

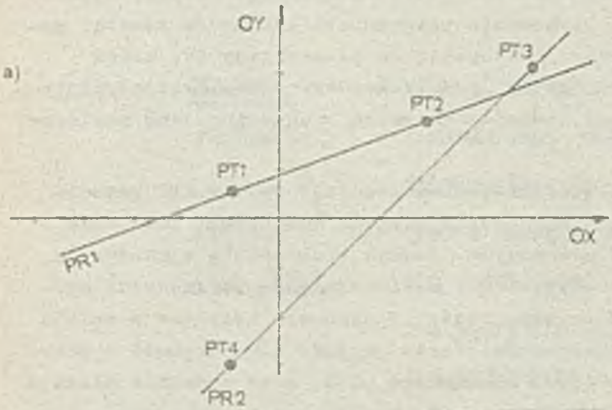
gdzie:

- NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,
- xi,yi,zi dla i=1,2 są odpowiednimi współrzędnymi punktów,
- PTi dla i=1,2 są nazwami wcześniej zdefiniowanych punktów lub zagnieżdżonymi definicjami punktów

Brak w definicji współrzędnej "z" oznacza, że definicja ma opierać się na instrukcji ZSURF lub zakłada przyjęcie współrzędnej "z" równej zeru. Warunkiem poprawności tej instrukcji jest, aby punkty się nie pokrywały.

Przykład tak opisanego definiowania prostej znajduje się na rys. 32. Przedstawiono na nim alternatywne sposoby zdefiniowania prostych PR1 i PR2: za pomocą nazw punktów lub przez podanie bezpośrednio w definicji prostej współrzędnych tych punktów.

a)



b) PR1=LINE/ -1,0.5,3,2
PR2=LINE/ 5,3,-1,-3

lub

PT1=POINT/ -1,0.5
PT2=POINT/ 3,2
PT3=POINT/ 5,3
PT4=POINT/ -1,-3
PR1=LINE /PT1,PT2
PR2=LINE / PT3,PT4

Rys.32. a) Proste przechodzące przez zadane punkty
b) Przykłady instrukcji APT definiujących proste

Prosta przechodząca przez zadany punkt i styczna do danego okręgu

Definicja jest poprawna oczywiście jedynie pod warunkiem, że zadany punkt leży na zewnątrz okręgu.

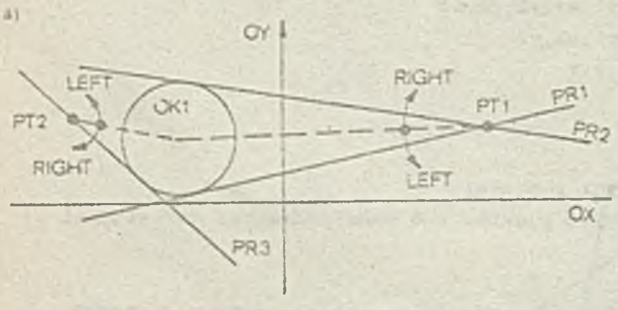
Ogólna postać tej instrukcji

$$\underline{\text{NAZWA}} = \text{LINE}/\underline{\text{PT}}, \left\{\begin{matrix}\text{RIGHT}\\\text{LEFT}\end{matrix}\right\}, \text{TANTO}, \underline{\text{OK}}$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej prostej,
PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,
RIGHT - lewy, LEFT - prawy - modyfikatory określające, który punkt styczności należy wziąć pod uwagę, przy czym zwrot ustala się patrząc od zadanego punktu PT w kierunku środka okręgu,
TANTO - modyfikator określający styczność prostej do okręgu,
OK - nazwa wcześniej zdefiniowanego okręgu lub zagnieżdżona definicja okręgu.

Ilustracją tak definiowanej prostej jest rys. 33.

a)



b) PR1=LINE/PT1,LEFT,TANTO,OK1
PR2=LINE/PT1,RIGHT,TANTO,OK1
PR3=LINE/PT2,RIGHT,TANTO,OK1

Rys.33. a) Konstruowanie prostych stycznych do danego okręgu i przechodzących przez zadane punkty
b) Instrukcja APT definiująca proste

Prosta definiowana jako styczna do dwóch zadanych okręgów

Warunkiem poprawności definicji jest, aby żaden z okręgów nie był położony wewnątrz drugiego. W wypadku przecinania się okręgów instrukcja daje możliwość zdefiniowania tylko dwóch prostych.

Ogólna postać tej definicji jest następująca:

$$\underline{NAZWA} = LINE/\left\{\begin{matrix} RIGHT \\ LEFT \end{matrix}\right\}, TANTO, \underline{OK1}, \left\{\begin{matrix} RIGHT \\ LEFT \end{matrix}\right\}, TANTO, \underline{OK2}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,

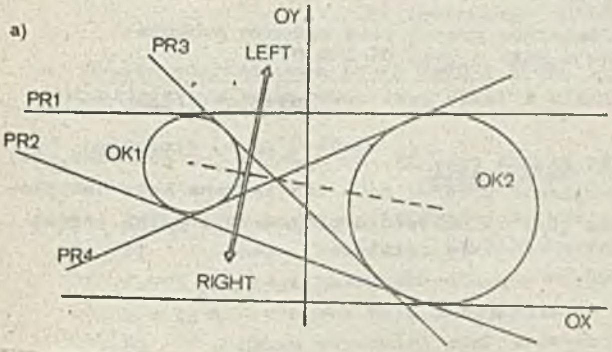
RIGHT - prawy, LEFT - lewy – modyfikatory określające, które punkty należy brać pod uwagę; zaznaczenie tych modyfikatorów określamy patrząc ze środka pierwszego okręgu OK1 w kierunku środka drugiego okręgu OK2;

TANTO - modyfikator określający styczność;

OKi dla i=1,2 nazwy wcześniej zdefiniowanych okręgów lub zagnieżdżone definicje okręgów.

Ilustracja tej instrukcji znajduje się na rys. 34.

a)



b)
```
PR1=LINE/LEFT,TANTO,OK1,LEFT,TANTO,OK2
PR2=LINE/RIGHT,TANTO,OK1,RIGHT,TANTO,OK2
PR3=LINE/LEFT,TANTO,OK1,REGHT,TANTO,OK2
PR4=LINE/RIGHT,TANTO,OK1,LEFT,TANTO,OK2
```

Rys.34. a) Proste styczne do dwóch zadanych okręgów OK1 i OK2
b) Instrukcje APT definiujące proste styczne do dwóch zadanych okręgów

Prosta zdefiniowana przez zadanie punktu i kąta, jaki tworzy z osią OX lub osią OY

Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA} = LINE/\underline{PT}, ATANGL, \alpha \left\{\begin{matrix} [,XAXIS] \\ ,YAXIS \end{matrix}\right\}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,

PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,

ATANGL - modyfikator określający, że wielkość występująca za nim w instrukcji jest kątem,

α - kąt podany w stopniach i dziesiątych częściach stopnia,

XAXIS, YAXIS - modyfikatory określające, względem której osi kąt jest mierzony.

Jeżeli w instrukcji nie wystąpi explixite nazwa osi, to system APT przyjmuje domyślnie oś OX, tzn. sytuacja taka odpowiada wystąpieniu XAXIS.

Przykład zastosowania tej instrukcji znajduje się na rysunku 35.

Prosta zdefiniowana przez zadanie punktu i tangensa kąta nachylenia prostej do osi OX lub osi OY

Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA} = \underline{LINE/PT}, SLOPE, t \left\{\begin{matrix} [,XAXIS] \\ ,YAXIS \end{matrix}\right\}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,

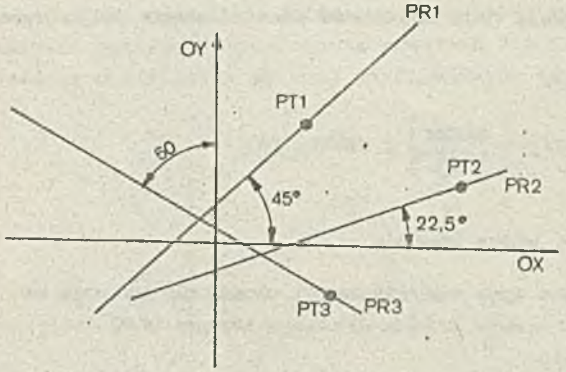
PT - nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,

SLOPE - modyfikator określający nachylenie,

t = tg α - tangens kąta nachylenia (współczynnik kierunkowy prostej),

XAXIS, YAXIS - modyfikatory określające, względem której osi mierzony jest kąt nachylenia prostej.

a)



b) PR1=LINE/PT1,ATANGL,45,XAXIS
PR2=LINE/PT2,ATANGL,25.5,XAXIS
PR3=LINE/PT2,ATANGL,60,YAXIS lub

PR1=LINE/PT1,SLOPE,1,XAXIS
PR2=LINE/PT2,SLOPE,0.477,XAXIS
PR3=LINE/PT3,SLOPE,1.7321,YAXIS

Rys.35. a) Proste zdefiniowane przez zadane punkty i kąty z osią OX lub osią OY
b) Instrukcje APT definiujące prostą przy zadanym punkcie i kącie lub tangensie kąta z osią OX lub OY

Analogicznie jak w poprzednim punkcie brak XAXIS i YAXIS jest równoważne z wystąpieniem XAXIS.

Przykład zastosowania tej instrukcji znajduje się na rys. 35. Na rysunku tym pokazano, że te same proste można zdefiniować podając kąt nachylenia prostej bądź też tangens kąta nachylenia. Wybór metody definiowania zależy od tego, co jest w konkretnym programie obróbki części wygodniejsze dla programisty.

Prosta zdefiniowana jako oś OX lub oś OY

Definicja ta ma postać:

$$\underline{\text{NAZWA}} = \text{LINE}/ \begin{Bmatrix} \text{XAXIS} \\ \text{YAXIS} \end{Bmatrix}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,
XAXIS, YAXIS - modyfikatory określające, która oś ma być wybrana.

W systemie APT programista może się odwoływać jedynie do zdefiniowanych w programie obróbki części elementów geometrycznych. Tak więc, gdy programista ma zaprogramować ruch narzędzia wzdłuż jednej z osi układu współrzędnych, musi tę oś zdefiniować jako prostą. Do tego celu jest bardzo użyteczna podana postać definicji. Oczywiście można tę samą prostą zdefiniować za pomocą przedstawionych poprzednio postaci definicji prostej - z wykorzystaniem kąta nachylenia bądź też tangensa kąta nachylenia, ale w takim wypadku zapis instrukcji byłby znacznie dłuższy.

Prosta zdefiniowana przez zadany punkt i kąt nachylenia definiowanej prostej do podanej prostej

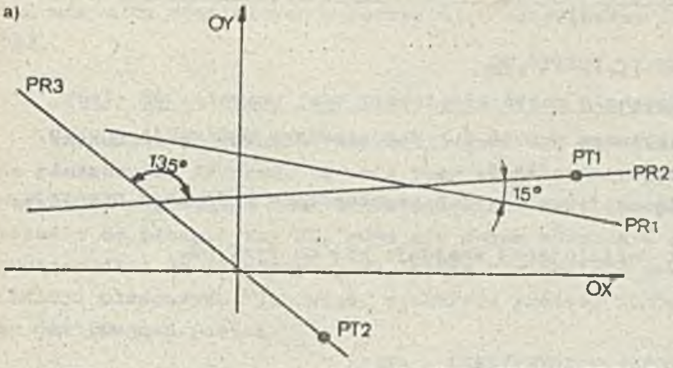
Definicja taka ma postać:

$$\underline{\text{NAZWA}} = \text{LINE}/\underline{\text{PT}},\text{ATANGL},\alpha,\ \underline{\text{PR}}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,
PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,
ATANGL - modyfikator określający, że jako następny parametr wystąpi kąt,
α - kąt mierzony w stopniach i dziesiątych częściach stopnia w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara od zadanej prostej (obrót w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara wyznacza kąt ujemny),
PR - nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub zagnieżdżona definicja prostej.

Przykład takiego definiowania prostej znajduje się na rys. 36.

a)



b) PR2=LINE/PT1,ATANGL,15,PR1
PR3=LINE/PT2,ATANGL,135,PR2

lub

PR2=LINE/PT1,SLOPE,Ø.26795,PR1
PR3=LINE/PT2,SLOPE,-1,PR2

Rys.36. a) Prosta zdefiniowana przez zadanie punktu, prostej i kąta lub tangensa kąta nachylenia względem prostej
b) Instrukcje definiujące proste

Prosta zdefiniowana przez zadany punkt i tangens kąta nachylenia definiowanej prostej do podanej prostej

Definicja ta ma postać:

NAZWA = LINE/PT,SLOPE,t,PR

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,
PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,
SLOPE - modyfikator określający nachylenie,
$t = tg\alpha$ - tangens kąta nachylenia definiowanej prostej w stosunku do danej prostej,
PR - nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub zagnieżdżona definicja prostej.

Przykład zastosowania tej definicji znajduje się na rys. 36. Podobnie jak w wypadku definiowania prostej z podaniem kąta nachylenia względem jednej z osi układu współrzędnych, i w tym wypadku prostą można zdefiniować podając kąt nachylenia, bądź tangens kąta nachylenia (rys. 36 b).

Prosta definiowana jako przechodząca przez zadany punkt i równoległa do podanej prostej

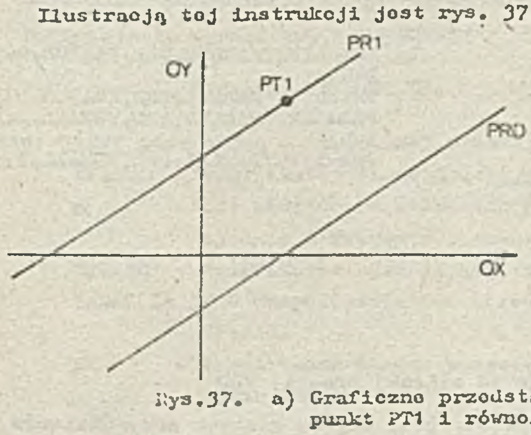
Definicja ta ma postać:

NAZWA = LINE/PT,PARLEL,PR

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,
PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,
PARLEL - modyfikator oznaczający równoległość prostych,
PR - nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub zagnieżdżona definicja prostej.

Ilustracją tej instrukcji jest rys. 37.

a)



b) PR1=LINE/PT1,PARLEL,PRD

Rys.37. a) Graficzne przedstawienie prostej PR1 przechodzącej przez zadany punkt PT1 i równoległej do danej prostej PRD
b) Instrukcja APT definiująca prostą

Prosta definiowana jako przechodząca przez zadany punkt i prostopadła do danej prostej

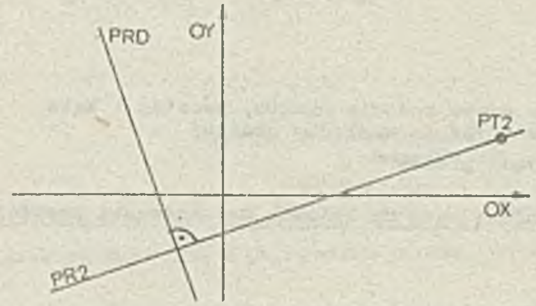
Definicja ta ma postać:

NAZWA = LINE/PT,PERPTO,PR

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,
PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,
PERPTO - modyfikator określający prostopadłość,
PR - nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub zagnieżdżona definicja prostej.

Przykład zastosowania tej instrukcji definiującej znajduje się na rys. 38.

a)



b) PR2=LINE/PT2,PERPTO,PRD

Rys.38. a) Graficzne przedstawienie prostej PR2 przechodzącej przez zadany punkt PT2 i prostopadłej do danej prostej PRD
b) Instrukcja APT definiująca przedstawioną prostą

Prosta zdefiniowana jako równoległa do danej prostej odległa od niej o podaną wielkość

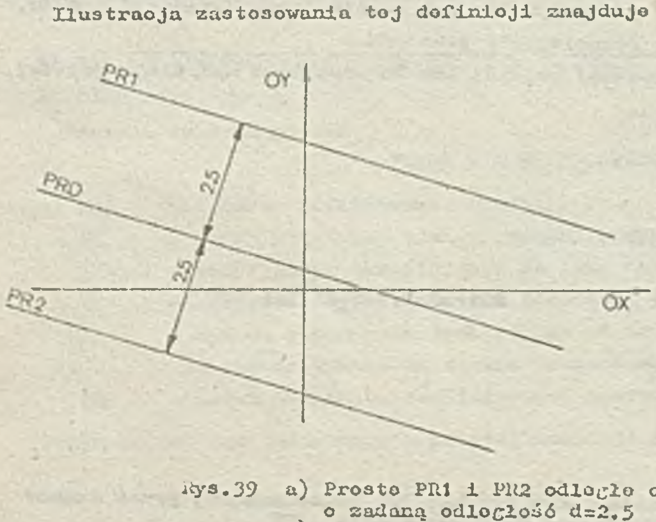
Definicja ta ma postać:

$$\text{NAZWA} = \text{LINE/PARLEL,PR,} \left\{ \begin{array}{c} \text{XLARGE} \\ \text{XSMALL} \\ \text{YLARGE} \\ \text{YSMALL} \end{array} \right\} \text{,d}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,
PARLEL - modyfikator oznaczający równoległość,
PR - nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub zagnieżdżona definicja prostej,
XLARGE,XSMALL,YLARGE,YSMALL - modyfikatory umożliwiające wybór odpowiedniej prostej (określają jedno z dwóch możliwych położeń wykreślanej prostej),
d - odległość definiowanej prostej od zadanej.

Ilustracja zastosowania tej definicji znajduje się na rys. 39. Jak widać, tę samą prostą

a)



b) PR1=LINE/PARLEL,PRD,YLARGE,2.5
lub
PR1=LINE/PARLEL,PRD,XLARGE,2.5
PR2=LINE/PARLEL,PRD,YSMALL,2.5
lub
PR2=LINE/PARLEL,PRD,XSMALL,2.5

Rys.39 a) Proste PR1 i PR2 odległe od zadanej prostej PRD o zadaną odległość d=2.5
b) Instrukcje definiujące proste przy użyciu różnych modyfikatorów

PR1 można tu zdefiniować wykorzystując modyfikator YLARGE lub XLARGE. Podobnie jest dla prostej PR2.

Prosta definiowana jako przecięcie dwóch płaszczyzn

Warunkiem poprawności definicji jest to, aby płaszczyzny nie były równocześnie równoległe do płaszczyzny XY oraz, aby nie były równocześnie prostopadłe do płaszczyzny XY. W świetle uwag podanych na początku punktu 5.4 oczywiste jest, że płaszczyzny nie mogą być równocześnie prostopadłe do płaszczyzny XY, gdyż nie można wówczas w sposób jednoznaczny wyznaczyć płaszczyzny prostopadłej do płaszczyzny XY, która zawierałaby prostą będącą przecięciem wymienionych w definicji płaszczyzn. Tak więc, definicja prostej definiowanej jako przecięcie dwóch płaszczyzn ma następującą postać:

NAZWA = LINE/INTOF,PL1,PL2

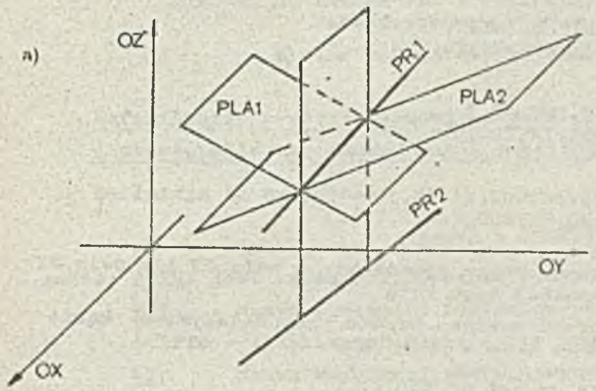
gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,

INTOF - modyfikator określający przecięcie,

PL1,PL2 - nazwy wcześniej zdefiniowanych płaszczyzn lub zagnieżdżone definicje płaszczyzn.

Przykład takiego definiowania prostej znajduje się na rys. 40.

a)



b) PR1=LINE INTOF,PLA1,PLA2

Rys.40. a) Prosta PR1 stanowiąca przecięcie płaszczyzn PLA1 i PLA2
b) Instrukcja definiująca prostą

Należy sobie zdawać sprawę, że zdefiniowana prosta PR1 jest traktowana przez system APT jako płaszczyzna prostopadła do płaszczyzny XY, zawierająca prostą PR1. Przy definiowaniu kształtu części na płaszczyźnie XY będzie ona traktowana tak samo, jak prosta PR2.

Prosta definiowana przez kąt nachylenia do osi OX i punkt przecięcia z osią OX lub osią OY

Definicja ta ma następującą postać:

$$\text{NAZWA} = \text{LINE/ATANGL}, \alpha, \text{INTERC}, \left\{ \begin{matrix} [\text{YAXIS},] \\ \text{XAXIS}, \end{matrix} \right\} p$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,

ATANGL - modyfikator określający, że jako następny parametr wystąpi kąt,

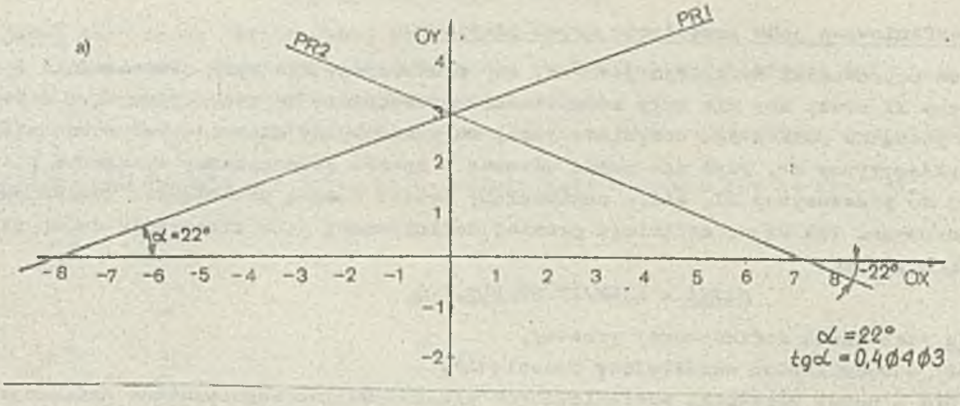
α - kąt mierzony w stopniach i dziesiątych częściach stopnia liczony od osi zgodnie z ruchem wskazówek zegara,

INTERC - modyfikator określający, że zostanie podana współrzędna punktu przecięcia,

YAXIS,XAXIS - modyfikatory osi określające, na której osi będzie określony punkt przecięcia,

p - współrzędna punktu przecięcia definiowanej prostej z osią określoną modyfikatorem osi.

Ilustracją tego przykładu jest rys. 41 (b - wariant 1). Jak widać tę samą prostą PR2 można



b)

1)
```
PR1=LINE/ATANGL,22,INTERC,3
PR2=LINE/ATANGL,-22,INTERC,3
lub
PR1=LINE/ATANGL,22,INTERC,YAXIS,3
PR2=LINE/ATANGL.-22,INTERC,XAXIS,7.425
```
albo

2)
```
PR1=LINE/SLOPE,.40403,INTERC,3
PR2=LINE/SLOPE,-.40403,INTERC,3
lub
PR1=LINE/SLOPE,.40403,INTERC,YAXIS,3
PR2=LINE/SLOPE,-.40403,INTERC,XAXIS,7.425
```

Rys.41. a) Proste PR1 i PR2 definiowane przez przecięcie z osią OX lub osią OY oraz kąt z osią OX lub tangens tego kąta

b) Instrukcje definiujące przedstawione proste przy zadanym: 1) kącie z osią OX albo 2) tangensie kąta z osią OX

zdefiniować podając współrzędną punktu przecięcia na osi OX lub OY.

Prosta definiowana przez tangens kąta przecięcia z osią OX i punkt przecięcia z osią OX lub osią OY

Definicja ta ma postać:

$$\underline{\text{NAZWA}} = \text{LINE/SLOPE,t,INTERC,} \left\{ \begin{matrix} [\text{YAXIS,}] \\ \text{XAXIS,} \end{matrix} \right\} \text{p}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,

SLOPE - modyfikator określający, że jako następny parametr zostanie podane nachylenie,

t - tangens kąta nachylenia definiowanej prostej do osi OX,

INTERC - modyfikator określający, że zostanie podana współrzędna punktu przecięcia,

YAXIS,XAXIS - modyfikatory osi określające, na której osi podajemy punkt przecięcia,

p - współrzędna punktu przecięcia definiowanej prostej z osią wskazaną modyfikatorem osi.

Ilustracją tego przykładu jest rys. 41 (b - wariant 2).

Definiowanie prostej leżącej na płaszczyźnie XY, przechodzącej przez zadany punkt i stycznej do zadanego walca tabularycznego

Definicja ta ma postać:

$$\underline{\text{NAZWA}} = \text{LINE/}\underline{\text{PT1}}\text{,TANTO,}\underline{\text{WT}}\text{,}\underline{\text{PT2}}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,

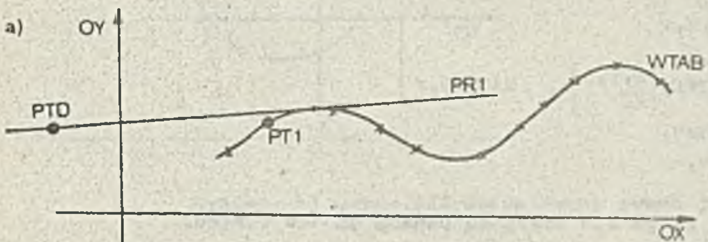
PT1 - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu, TANTO - modyfikator określający styczność prostej i tabelarycznego walca,

WT - nazwa wcześniej zdefiniowanego walca tabelarycznego,

PT2 - punkt walca tabelarycznego. Wskazane jest, aby punkt ten znajdował się możliwie blisko nieznanego dokładnie punktu styczności prostej z walcem tabelarycznym, gdyż ułatwia to systemowi APT odnalezienie punktu styczności (por. - definiowanie punktu jego przecięcia prostej z walcem tabelarycznym).

Ilustracją zastosowania tego typu definicji jest rys. 42.

a)



b) PR1=LINE/PTD,TANTO,WTAB,PT1

Rys.42. a) Prosta PR1 przechodząca przez dany punkt PTD i styczna do walca tabelarycznego WTAB w punkcie bliskim punktowi PT1

b) Instrukcja APT definiująca wykreśloną prostą

Definiowanie prostej leżącej na płaszczyźnie XY, przechodzącej przez zadany punkt i prostopadłej do danego walca tabelarycznego

Definicja ta ma postać:

NAZWA = LINE/PT1,PERPTO,WT,PT2

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej prostej,

PT1 - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,

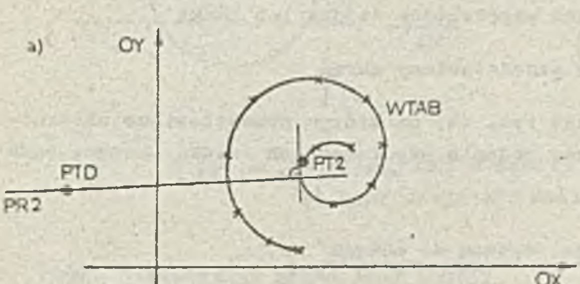
PERPTO - modyfikator określający prostopadłość prostej do tabelarycznego walca,

WT - nazwa wcześniej zdefiniowanego walca tabelarycznego,

PT2 - nazwa punktu należącego do zadanego walca tabelarycznego. Analogicznie, jak w wypadku prostej stycznej do walca, powinien to być punkt możliwie bliski nieznanego dokładnie punktu przecięcia prostej prostopadłej z walcem tabelarycznym.

Ilustracja zastosowania tej definicji znajduje się na rys. 43.

a)



b) PR2=LINE/PTD,PERPTO,WTAB,PT2

Rys.43. a) Prosta PR2 przechodząca przez dany punkt PTD i prostopadła do walca tabelarycznego WTAB w punkcie bliskim punktowi PT2

b) Instrukcja APT definiująca prostą PR2

5.5. Definicja okręgu

System APT traktuje okrąg jako powierzchnię walca prostopadłego do płaszczyzny XY, zawierającą podany w instrukcji definiującej okrąg (zob. pkt 8 - postać kanoniczna okręgu). W stosunku do okręgu obowiązują podobne uwagi, jak w wypadku prostej (por. pkt 5.4.) . Wyróżnikiem instrukcji definiujących okrąg jest słowo kluczowe CIRCLE, które występuje w każdej takiej instrukcji.

Okrąg definiowany przez zadanie współrzędnych środka i promienia

Definicja ma następującą postać:

$$\underline{NAZWA} = CIRCLE/ \begin{bmatrix} x,y,z,r \\ x,y,r \\ CENTER, \begin{Bmatrix} x,y,z \\ \underline{PT} \end{Bmatrix}, \ RADIUS,r \end{bmatrix}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanego okręgu,

x,y,z - współrzędne środka okręgu,

r - promień okręgu,

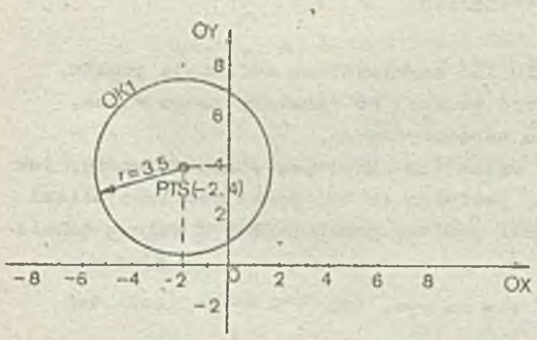
CENTER - modyfikator określający, że po nim zostanie podany środek okręgu,

PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu stanowiącego środek okręgu,

RADIUS - modyfikator określający, że po nim będzie podany promień okręgu.

Podana instrukcja umożliwia zdefiniowanie okręgu przez podanie jego promienia oraz określenie środka okręgu - przez podanie współrzędnych tego punktu, bądź też nazwy wcześniej zdefiniowanego punktu. Jeśli będzie podana współrzędna "z" środka okręgu, za współrzędną tę przyjmuje się 0. Ponieważ okrąg w systemie APT jest traktowany jako powierzchnia walcowa (por pkt 5.4.) , więc wartość współrzędnej "z" nie ma tu istotnego znaczenia.

a)



b) OK1=CIRCLE/ -2,4,3.5
lub
PTS=POINT/-2,4
OK1=CIRCLE/CENTER,PTS,RADIUS,3.5

Rys.44. a) Okrąg OK1 zdefiniowany przez współrzędne środka lub punkt środkowy PTS i promień r
b) Instrukcje APT definiujące przedstawiony okrąg

Ilustracją zastosowania tego typu instrukcji jest rys. 44, na którym przedstawiono alternatywne sposoby zdefiniowania tego samego okręgu: przez podanie współrzędnych środka okręgu, bądź też nazwy punktu, będącego środkiem okręgu.

Okrąg definiowany przez punkt środkowy i prostą styczną do okręgu

Definicja ma postać:

NAZWA = CIRCLE/CENTER,PT,TANTO,PR

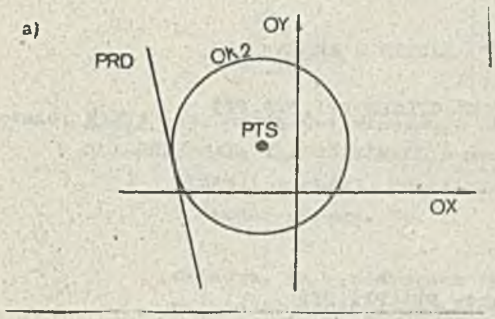
gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanego okręgu,

PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu stanowiącego środek okręgu,

TANTO - modyfikator określający styczność definiowanego okręgu do prostej PR,

PR - nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub zagnieżdżona definicja prostej, Definicja ta umożliwia zdefiniowanie okręgu o podanym środku, jako stycznego do podanej w instrukcji prostej.

Zastosowanie tej instrukcji zilustrowane jest na rys. 45.



b) OK2=CIRCLE/CENTER,PTS,TANTO,PRD

Rys.45. a) Okrąg OK2 definiowany przez jego środek PTS i prostą styczną do niego PRD
b) Instrukcja APT definiująca przedstawiony okrąg

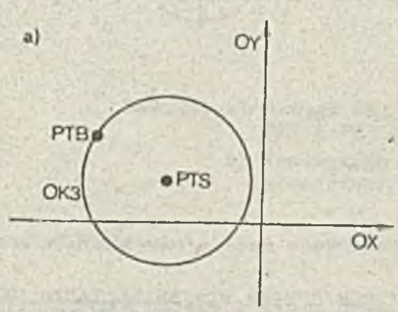
Okrąg zdefiniowany przez środek i punkt leżący na tym okręgu

Definicja ma postać:

NAZWA = CIRCLE/CENTER,PT1,PT2

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanego okręgu,
CENTER - modyfikator określający, że jako następny parametr zostanie podany środek okręgu,
PT1 - punkt będący środkiem okręgu podany w postaci nazwy wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżonej definicji punktu,
PT2 - punkt należący do definiowanego okręgu, w postaci nazwy wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżonej definicji punktu.

Ilustracja zastosowania tej instrukcji znajduje się na rys. 46.



b) OK3=CIRCLE/CENTER,PTS,PTB

Rys.46. a) Okrąg OK3 o środku w punkcie PTS przechodzący przez punkt PTB
b) Instrukcja APT definiująca okrąg OK3

Okrąg definiowany przez trzy punkty

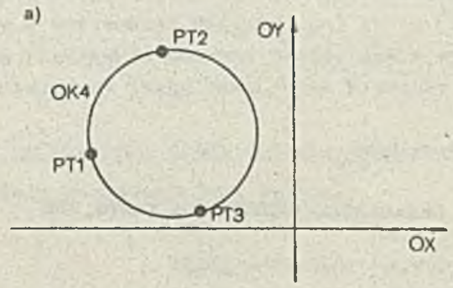
Instrukcja ta umożliwia zdefiniowanie okręgu przechodzącego przez trzy podane punkty. Oczywistym warunkiem poprawności definicji jest to, aby punkty nie były współliniowe.

Definicja ma postać:

NAZWA = CIRCLE/PT1,PT2,PT3

gdzie: PT1,PT2,PT3 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych punktów lub zagnieżdżonymi definicjami punktów.

Ilustracją tej instrukcji jest rys. 47.



b) OK4=CIRCLE/PT1,PT2,PT3

Rys.47. a) Okrąg OK4 przechodzący przez punkty PT1,PT2,PT3
b) Instrukcja APT definiująca okrąg OK4

Definiowanie okręgu przez podanie jego środka oraz innego okręgu, do którego ma być styczny

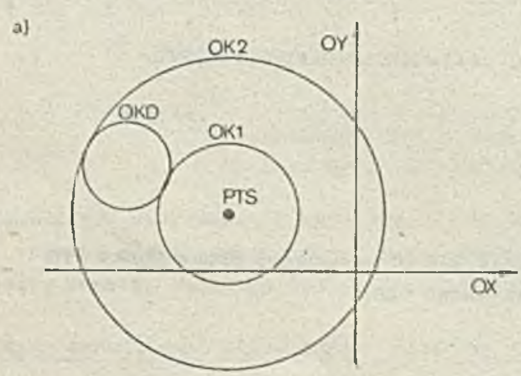
Rozważmy sytuację, w której mamy okrąg i punkt nie leżący na tym okręgu. Wówczas można określić okrąg styczny do zadanego okręgu, którego środkiem będzie podany punkt. Jak łatwo zauważyć, istnieją dwa okręgi spełniające taki warunek, w związku z tym należy sprecyzować, który z tych okręgów należy wybrać.

Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA} = CIRCLE/CENTER, \underline{PT}, \left\{ \begin{matrix} LARGE \\ SMALL \end{matrix} \right\}, \; TANTO, \underline{OK}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanego okręgu,
CENTER - modyfikator określający środek okręgu,
PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu, będącego środkiem definiowanego okręgu,
LARGE, SMALL - modyfikatory określające, który z dwóch możliwych okręgów ma być wybrany. Modyfikatory dotyczą długości promieni (LARGE - dłuższy promień, SMALL - krótszy).

Rys. 48 jest ilustracją tej definicji.



b) OK1=CIRCLE/CENTER,PTS,SMALL,TANTO,OKD
OK2=CIRCLE/CENTER,PTS,LARGE,TANTO,OKD

Rys.48. a) Okręgi OK1 i OK2 definiowane przez punkt środkowy PTS oraz okrąg OKD, do którego są styczne
b) Instrukcje APT definiujące dwa okręgi za pomocą modyfikatorów SMALL i LARGE

Definiowanie okręgu o zadanym promieniu jako stycznego do dwóch przecinających się prostych

Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA} = CIRCLE/\left\{\begin{matrix} XLARGE \\ XSMALL \\ YLARGE \\ YSMALL \end{matrix}\right\}, \underline{PR1}, \left\{\begin{matrix} XLARGE \\ XSMALL \\ YLARGE \\ YSMALL \end{matrix}\right\}, \underline{PR2}, RADIUS, r$$

gdzie: **NAZWA** jest nazwą definiowanego okręgu,

XLARGE,XSMALL,YLARGE,YSMALL - modyfikatory odnoszące się do występującej za nimi w definicji prostej. Umożliwiają określenie wzajemnego położenia punktu styczności i środka okręgu. Np.

... YLARGE,PR1 ...

oznacza, że współrzędna "y" środka okręgu ma większą wartość niż współrzędna "y" punktu styczności okręgu z prostą PR1. Zastosowanie modyfikatorów umożliwia właściwy wybór jednego z czterech możliwych okręgów (por. rys. 49) ,

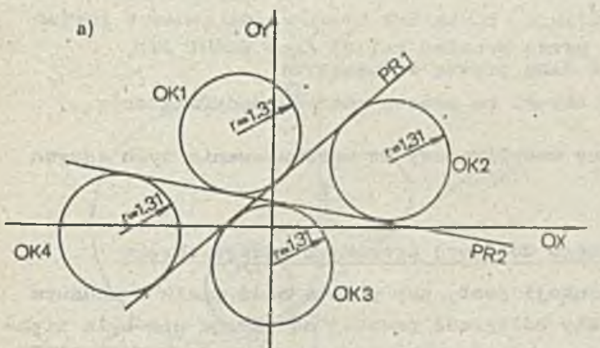
RADIUS - modyfikator określający, że występująca po nim wielkość jest promieniem okręgu,

r - długość promienia definiowanego okręgu.

PR1,**PR2** - nazwy wcześniej zdefiniowanych prostych lub zagnieżdżone definicje prostych. Oczywiste jest, że proste te nie mogą się pokrywać (czyli PR1 $\neq$ PR2).

Przykład użycia tej instrukcji znajduje się na rys. 49. Przedstawiono na nim alternatywne

a)



b)
```
OK1=CIRCLE/YLARGE,PR2,YLARGE,PR1,RADIUS,1,31
OK2=CIRCLE/YSMALL,PR1,XLARGE,PR2,RADIUS,1,31
OK3=CIRCLE/YSMALL,PR2,YSMALL,PR1,RADIUS,1.31
OK4=CIRCLE/XSMALL,PR2,YLARGE,PR1,RADIUS,1,31
lub
OK1=CIRCLE/XLARGE,PR2,XSMALL,PR1,RADIUS,1,31
OK2=CIRCLE/XLARGE,PR1,YLARGE,PR2,RADIUS,1,31
OK3=CIRCLE/XSMALL,PR2,XLARGE,PR1,RADIUS,1,31
OK4=CIRCLE/YSMALL,PR2,XSMALL,PR1,RADIUS,1,31
```

Rys.49. a) Okręgi OK1, OK2, OK3, OK4 zdefiniowane przez dwie proste styczne PR1 i PR2 oraz zadany promień r=1,31
b) Instrukcje APT definiujące okręgi w przykładach dwóch wersji przedstawienia

sposoby zdefiniowania tych samych okręgów - z wykorzystaniem różnych modyfikatorów.

Definiowanie okręgu o danym promieniu przechodzącego przez zadany punkt i stycznego do danej prostej

Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA}=CIRCLE/TANTO,\underline{PR}, \left\{\begin{matrix} XLARGE \\ XSMALL \\ YLARGE \\ YSMALL \end{matrix}\right\}, \underline{PT}, RADIUS, r$$

gdzie= **NAZWA** jest nazwą definiowanego okręgu,

TANTO - modyfikator określający styczność,

PR - nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub zagnieżdżona definicja prostej,

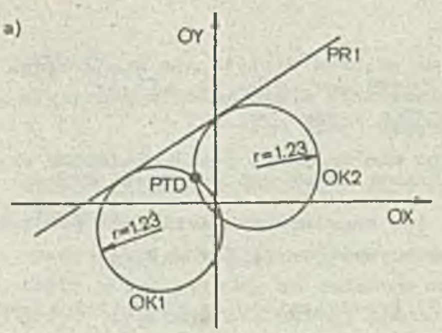
XLARGE,XSMALL,YLARGE,YSMALL - modyfikatory określające wzajemne położenie środków okręgów powstałych w wyniku opisanej metody konstrukcji.

Jak łatwo zauważyć, istnieją dwa okręgi styczne do prostej PR, które jednocześnie przechodzą przez punkt nie leżący na tej prostej. Powyższe modyfikatory umożliwiają sprecyzowanie, który z tych okręgów chcemy wybrać. Określa się więc, czy odpowiednia współrzędna (x bądź y) środka definiowanego okręgu ma mieć większą lub mniejszą wartość w porównaniu ze współrzędną drugiego okręgu, jaki dopuszcza zastosowana metoda definiowania.

PT – nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu, przez który przechodzi definiowany okrąg,
RADIUS – modyfikator określający promień,
r – długość promienia definiowanego okręgu.

Przykład użycia tej instrukcji znajduje się na rys. 50. Przedstawione instrukcje języka

a)



b)
```
OK1=CIRCLE/TANTO,PR1,XSMALL,PTD,RADIUS,1.23
OK2=CIRCLE/TANTO,PR1,XLARGE,PTD,RADIUS,1.23
lub
OK1=CIRCLE/TANTO,PR1,YSMALL,PTD,RADIUS,1.23
OK2=CIRCLE/TANTO,PR1,YLARGE,PTD,RADIUS,1.23
```

Rys.50. a) Okręgi OK1 i OK2 określono przez promień r=1.23 dany punkt PTD, przez który przechodzą oraz daną prostą styczną PR1
b) Instrukcje APT definiujące okręgi za pomocą różnych modyfikatorów

APT pokazują, w jaki sposób można wykorzystać różne modyfikatory do zdefiniowania tych samych okręgów.

Definiowanie okręgu o zadanym promieniu stycznego do danej prostej i danego okręgu

Warunkiem poprawności tak zdefiniowanej konstrukcji jest, aby prosta bądź miała z zadanym okręgiem co najmniej jeden punkt styczności lub, aby odległość prostej od okręgu nie była większa niż 2r, gdzie r jest zadanym w definicji promieniem tworzonego okręgu.

Definicja ma postać:

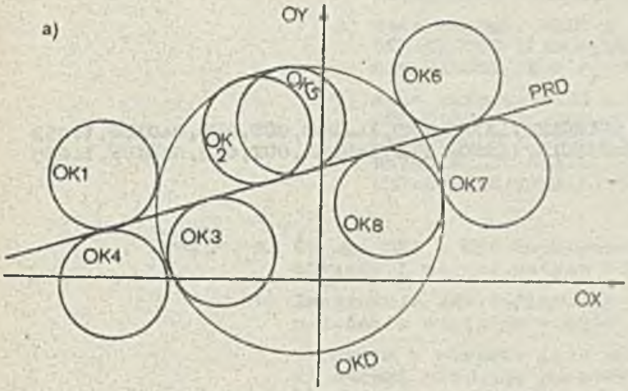
$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=CIRCLE/}\left\{\begin{array}{l}\text{XLARGE}\\ \text{XSMALL}\\ \text{YLARGE}\\ \text{YSMALL}\end{array}\right\},\underline{\text{PR}},\left\{\begin{array}{l}\text{XLARGE}\\ \text{XSMALL}\\ \text{YLARGE}\\ \text{YSMALL}\end{array}\right\},\left\{\begin{array}{l}\text{IN}\\ \text{OUT}\end{array}\right\},\underline{\text{OK}},\text{RADIUS},r$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanego okręgu,
XLARGE, XSMALL, YLARGE, YSMALL – modyfikatory, które w odniesieniu do
- prostej (tzn. modyfikator występujący przed PR) określają położenie środka definiowanego okręgu względnie prostej,
- okręgu (tzn. modyfikator występujący przed modyfikatorem IN lub OUT) określają położenie środka definiowanego okręgu względem środka danego okręgu,

PR – nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub zagnieżdżona definicja prostej,
IN, OUT – modyfikatory określające czy definiowany okrąg jest wewnętrznie czy zewnętrznie styczny do danego okręgu,
OK – nazwa wcześniej zdefiniowanego okręgu lub zagnieżdżona definicja okręgu,
RADIUS – modyfikator określający, że po nim zostanie podany promień,
r – długość promienia definiowanego okręgu.

W zależności od wzajemnego położenia danej prostej i danego okręgu możliwe są różne liczby okręgów konstruowanych zgodnie z podaną definicją:

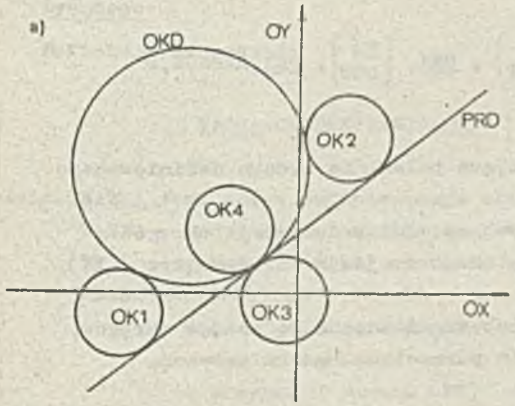
- gdy prosta ma z okręgiem dwa punkty przecięcia jest osiem możliwych okręgów - ilustracja na rys. 51,



b) OK1=CIRCLE/YLARGE,PRD,XSMALL,OUT,OKD,RADIUS,0,951
OK2=CIRCLE/YLARGE,PRD,XSMALL,IN,OKD,RADIUS,0.951
OK3=CIRCLE/YSMALL,PRD,XSMALL,IN,OKD,RADIUS,0.951
OK4=CIRCLE/YSMALL,PRD,XSMALL,OUT,OKD,RADIUS,0.951
OK5=CIRCLE/YLARGE,PRD,XLARGE,IN,OKD,RADIUS,0.951
OK6=CIRCLE/YLARGE,PRD,XLARGE,OUT,OKD,RADIUS,0.951
OK7=CIRCLE/YSMALL,PRD,XLARGE,OUT,OKD,RADIUS,0.951
OK8=CIRCLE/YSMALL,PRD,XLARGE,IN,OKD,RADIUS,0.951

Rys.51. a) Okręgi OK1 - OK8 o danym promieniu r=0,951 styczne do danej prostej PRD i danego okręgu OKD (gdy prosta przecina dany okrąg w dwóch punktach)
b) Instrukcje APT definiujące poszczególne okręgi za pomocą różnych modyfikatorów

- gdy prosta ma z okręgiem jeden punkt wspólny (proste styczne do okręgu) powstają cztery okręgi spełniające warunki definicji (ilustracją tej sytuacji jest rys. 52),



b) OK1=CIRCLE/YLARGE,PRD,XSMALL,OUT,OKD,RADIUS,1.253
OK2=CIRCLE/YLARGE,PRD,XLARGE,OUT,OKD,RADIUS,1.253
OK3=CIRCLE/YSMALL,PRD,XLARGE,OUT,OKD,RADIUS,1.253
OK4=CIRCLE/YLARGE,PRD,YSMALL,IN,OKD,RADIUS,1.253

Rys.52. a) Okręgi OK1-OK4 o zadanym promieniu r=1.253 styczne do danej prostej PRD i danego okręgu OKD (gdy prosta jest styczna do danego okręgu)
b) Instrukcje APT definiujące poszczególne okręgi

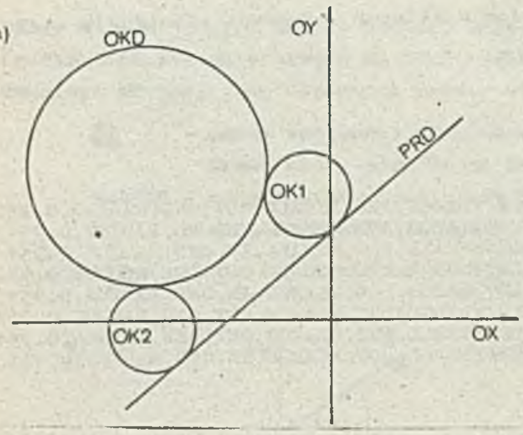
- gdy prosta nie ma z okręgiem punktów wspólnych (i odległość prostej od okręgu nie jest większą niż 2r) istnieją dwa okręgi spełniające warunki definicji - przykład ten jest zilustrowany na rys. 53.

Wybór jednego okręgu spośród wszystkich okręgów możliwych w danym wypadku, dokonuje się przez podanie w definicji odpowiednich modyfikatorów.

Definiowanie okręgu o zadanym promieniu stycznego do dwóch podanych okręgów

Zasadniczym warunkiem poprawności tej definicji jest, aby dane okręgi nie były współśrodkowe, gdyż w takiej sytuacji, bądź nie byłoby okręgu spełniającego warunek styczności bądź też byłoby tych okręgów nieskończenie wiele. W pozostałych wypadkach definicja umożliwia jedno-

a)



b) OK1=CIRCLE/YLARGE,PRD,XLARGE,OUT,OKD,RADIUS,1.253
OK2=CIRCLE/YLARGE,PRD,YSMALL,OUT,OKD,RADIUS,1.253

Rys.53. a) Okręgi OK1 i OK2 o danym promieniu r=1.253 styczne do prostej PRD i danego okręgu OKD (gdy okrąg i prosta nie mają punktów wspólnych)
b) Instrukcje APT definiujące przedstawione okręgi

znaczne przedstawienie okręgu, przy czym podany promień okręgu musi być tak dobrany, aby zapewnić wykonalność tej konstrukcji.

Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA}= \text{CIRCLE}/ \begin{bmatrix} \text{XLARGE} \\ \text{XSMALL} \\ \text{YLARGE} \\ \text{YSMALL} \end{bmatrix}, \begin{Bmatrix} \text{IN} \\ \text{OUT} \end{Bmatrix}, \underline{\text{OK1}}, \begin{Bmatrix} \text{IN} \\ \text{OUT} \end{Bmatrix}, \underline{\text{OK2}}, \text{RADIUS}, r$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanego okręgu,

XLARGE,XSMALL,YLARGE,YSMALL - modyfikatory określające położenie środka definiowanego okręgu względem środka okręgu OK1,

IN,OUT - modyfikatory odnoszące się do występujących za nimi w definicji okręgów (OK1 lub OK2) określające, czy definiowany okrąg znajduje się wewnątrz (IN), czy na zewnątrz (OUT) danego okręgu,

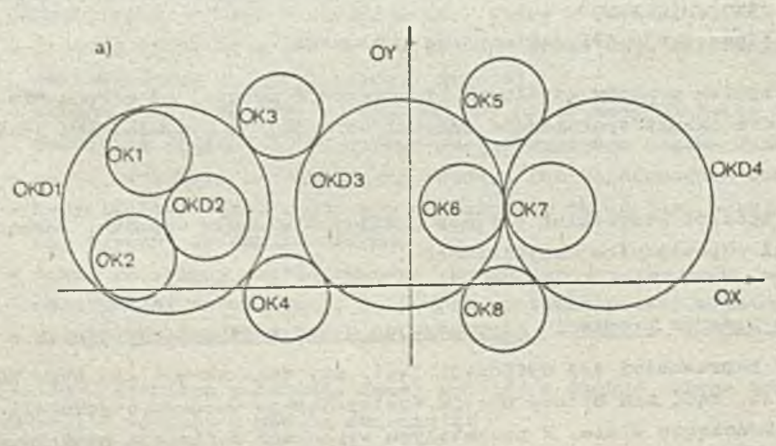
OK1,OK2 - nazwy wcześniej zdefiniowanych okręgów lub zagnieżdżone definicje okręgów,

RADIUS - modyfikator określający, że podanym za nim parametrem będzie promień,

r - długość promienia definiowanego okręgu.

W zależności od wzajemnego położenia danych okręgów instrukcja może definiować dwa lub cztery okręgi. Przykłady znajdują się na rys. 54.

a)



b) 1) dane okręgi: OKD1 i OKD2
OK1=CIRCLE/XLARGE,IN,OKD1,OUT,OKD2,RADIUS,0.921
OK2=CIRCLE/XSMALL,OUT,OKD2,IN,OKD1,RADIUS,.921

2) dane okręgi: OKD1 i OKd3
OK3=CIRCLE/YLARGE,OUT,OKD1,OUT,OKD3,RADIUS,.921
OK4=CIRCLE/XSMALL,OUT,OKD1,OUT,OKD3,RADIUS,.921

3) dane okręgi: OKD3 i OKD4
OK5=CIRCLE/XLARGE,OUT,OKD3,OUT,OKD4,RADIUS,.921
OK6=CIRCLE/XLARGE,IN,OKD3,OUT,OKD4,RADIUS,.921
OK7=CIRCLE/XSMALL,IN,OKD4,OUT,OKD3,RADIUS,.921
OK8=CIRCLE/YSMALL,OUT,OKD3,OUT,OKD4,RADIUS,.921

Rys.54. a) Okręgi OK1 - OK8 konstruowane jako okręgi styczne do dwóch danych okręgów i mające zadany promień

b) Instrukcje APT definiujące okręgi, gdy okręgi dane mają rozmaite położenie względem siebie:
1) jeden z okręgów leży wewnątrz drugiego
2) okręgi nie mają punktów wspólnych
3) okręgi są styczne

Przedstawione na nim okręgi OKD1, OKD2, OKD3, OKD4 są wcześniej zdefiniowanymi okręgami, natomiast okręgi OK1 - OK8 są okręgami konstruowanymi za pomocą tej definicji. W zależności od wzajemnego położenia dwóch wymienionych w instrukcji okręgów, zdefiniowano różne, możliwe w tej sytuacji okręgi (zob. rys. 54 b). Przyjęto, że promień definiowanego okręgu w każdym wypadku wynosi r=0.921.

Definiowanie okręgu o danym promieniu stycznego do danej prostej i danego walca tabelarycznego

Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA}=CIRCLE/TANTO,\underline{PR},\begin{Bmatrix}XLARGE\\XSMALL\\YLARGE\\YSMALL\end{Bmatrix},\underline{WT},\begin{Bmatrix}XLARGE\\XSMALL\\YLARGE\\YSMALL\end{Bmatrix},\underline{PT},RADIUS,r$$

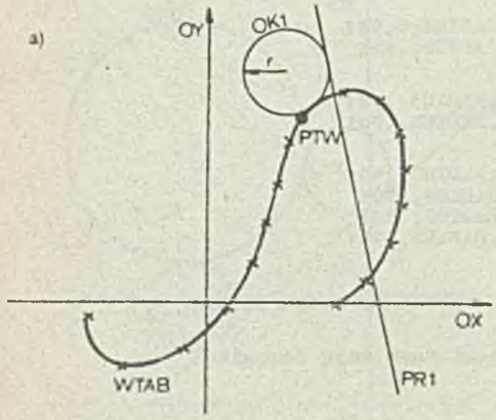
gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanego okręgu,
TANTO - modyfikator określający styczność,
PR - nazwa wcześniej zdefiniowanej prostej lub zagnieżdżona definicja prostej,
XLARGE,XSMALL,YLARGE,YSMALL - modyfikatory określające: w przypadku walca tabelarycznego - położenie środka definiowanego okręgu w stosunku do punktu styczności okręgu z walcem,
w przypadku punktu (PT) wchodzącego w skład walca położenie środka definiowanego okręgu względem tego punktu,
WT - nazwa wcześniej zdefiniowanego walca tabelarycznego,
PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu; punkt ten jest jednym z punktów walca tabelarycznego i zgodnie z opisanymi zasadami powinien być wybrany jako punkt "najbliższy" punktu styczności walca z okręgiem; (por. - definiowanie punktu jako przecięcia prostej z walcem tabelarycznym)
RADIUS - modyfikator określający, że po nim zostanie podany promień,
r - długość promienia definiowanego okręgu.

Ilustracją dla tej instrukcji definiującej jest rys. 55.

5.6. Definicja elipsy

Ponieważ elipsa jest krzywą płaską, będącą zbiorem punktów, dla których suma odległości od dwóch ustalonych punktów jest stała, można ją zdefiniować podając jej punkt środkowy, długość małej i wielkiej półosi oraz kąt między wielką osią a osią OX. Elipsa będzie wówczas

a)



b) OK1=CIRCLE/TANTO,PR1,XSMALL,WTAB,YLARGE,PTW,RADIUS,.961

Rys.55. a) Okrąg OK1 o promieniu r=0.961 styczny do prostej PR1 i walca tabelarycznego WTAB

b) Instrukcja APT definiująca skonstruowany okrąg

zdefiniowana na płaszczyźnie XY. Modyfikator ELLIPS identyfikuje opisywaną konstrukcję jako elipsę.

Definicja taka ma postać:

NAZWA = ELLIPS/CENTER,PT,a,b,α

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej elipsy,

CENTER - oznacza, że będzie podany środek elipsy,

PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu, będącego punktem środkowym elipsy,

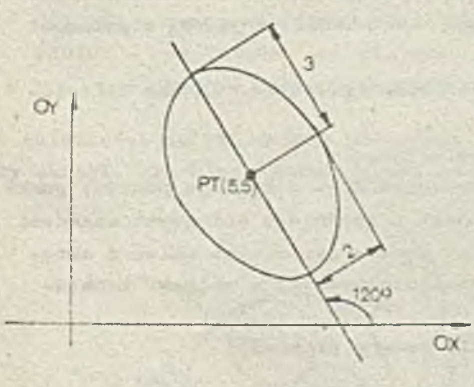
a - jest długością wielkiej półosi elipsy,

b - jest długością małej półosi elipsy,

α - jest kątem między wielką osią, a osią OX. Kąt podawany jest w stopniach, przy czym kąt dodatni liczony jest przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Przykład definiowania elipsy przedstawia rys. 56.

a)



b) ELIPSA=ELLIPS/CENTER,PT,3.,2.,120

Rys.56. Przykład definiowania elipsy

a) ilustracja graficzna

b) definicja elipsy

W rzeczywistości w systemie APT elipsa jest traktowana jako powierzchnia walca eliptycznego, a więc jako powierzchnia II stopnia (por. pkt 8 - postać kanoniczna elipsy). Elipsy dotyczą więc analogiczne uwagi, jak płaszczyzny (zob. pkt 5.4).

5.7. Definicja hiperboli

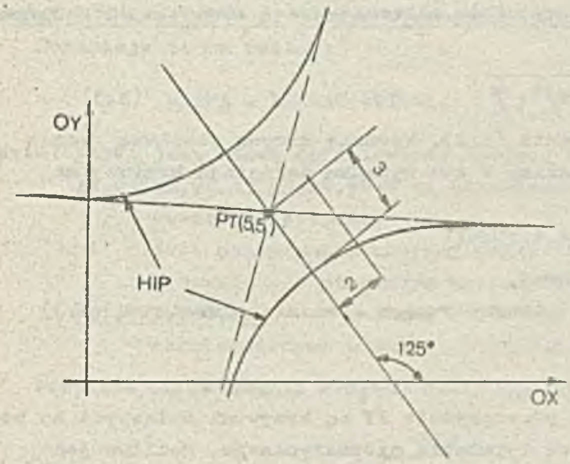
Hiperbola jest zbiorem takich punktów płaszczyzny, dla których wartość bezwzględna różnicy odległości tych punktów od dwóch ustalonych punktów jest stała. Można więc zdefiniować hiperbolę, podając jej punkt środkowy, długość półosi rzeczywistej, długość półosi sprzężonej oraz kąt, który tworzy oś rzeczywista hiperboli z osią OX. Jako słowo identyfikujące rodzaj definiowanego elementu musi wystąpić w instrukcji słowo HYPERB.

Definicja hiperboli ma postać:

NAZWA = HYPERB / CENTER,PT,a,b,α

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej hiperboli,
CENTER - oznacza, że zostanie podany środek hiperboli,
PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu, bądź też definicją zagnieżdżoną punktu, będącego punktem środkowym hiperboli,
a - jest długością półosi rzeczywistej,
b - jest długością półosi sprzężonej,
α - jest kątem, jaki tworzy oś rzeczywista hiperboli z osią OX.
Kąt podany jest w stopniach i mierzony jest w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara.

Hiperbola taka będzie zdefiniowana na płaszczyźnie XY.
Przykład definiowania hiperboli przedstawia rys. 57.

a)


b)HIP=HYPERB/CENTER,PT,3,2,125

Rys.57. Przykład definiowania hiperboli
a) ilustracja graficzna
b) definicja hiperboli

W systemie APT hiperbola jest traktowana jako powierzchnia walca hiperbolicznego, a więc jako powierzchnia II stopnia (por. pkt 8 - postać kanoniczna hiperboli). Hiperboli dotyczą więc podobne uwagi, jak płaszczyzny (zob. pkt 5.4.).

5.8. Definicje krzywych drugiego stopnia

Ogólnie dowolna krzywa drugiego stopnia na płaszczyźnie XY, zwana też krzywą stożkową, jest opisywana przez klasę równań stopnia drugiego postaci:

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0 \tag{5.1}$$

We wszystkich definicjach krzywych drugiego stopnia musi wystąpić słowo GCONIC.
Należy zauważyć, że w systemie APT krzywa stożkowa jest traktowana jak powierzchnia II stopnia (por. pkt 8 - postać kanoniczna krzywej II stopnia), a więc w stosunku do niej obowiązują podobne uwagi, jak w przypadku płaszczyzny (zob. pkt 5.4.).

Krzywa stopnia drugiego definiowana przez podanie współczynników równania ogólnego

Krzywą stożkową można zdefiniować podając współczynniki ogólnego równania opisującego tę krzywą.

Definicja ma postać:

NAZWA = GCONIC/a,b,c,d,e,f

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej krzywej stożkowej,
a,b,c,d,e,f - są odpowiednimi współczynnikami ogólnego równania (5.1).

Krzywa stożkowa definiowana przez podanie współczynników równania alternatywnego

Krzywą stożkową można też opisać za pomocą alternatywnego równania (wzór 5.1) o następującej postaci:

$$Y = Px + Q \pm \sqrt{Rc^2 + Sx + T} \qquad (5.2)$$

W takim wypadku krzywą stożkową można zdefiniować podając współczynniki równania alternatywnego.

Definicja taka ma postać:

NAZWA = GCONIC/p,q,r,s,t

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej krzywej stożkowej,
p,q,r,s,t - są odpowiednimi współczynnikami alternatywnego równania krzywej stożkowej (5.2).

Krzywa stożkowa definiowana przez podanie współczynników alternatywnego równania odwrotnego

Krzywą stożkową można również opisać równaniem

$$X = Py + Q \pm \sqrt{Ry^2 + Sy + T} \qquad (5.3)$$

będącym alternatywnym równaniem, odwrotnym do równania (5.2). Wówczas krzywą stożkową można zdefiniować przez podanie współczynników tego równania. W tym wypadku definicja krzywej ma postać:

NAZWA = GCONIC/p,q,r,s,t,FUNOFY

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej krzywej stożkowej,
p,q,r,s,t - są odpowiednimi współczynnikami alternatywnego równania odwrotnego (5.3)

5.9. Definicje krzywych czwartego stopnia

Przedstawione niżej krzywe czwartego stopnia na płaszczyźnie XY są krzywymi opisanymi za pomocą pięciu niezależnych warunków, nie zaś za pomocą wyrażenia matematycznego. Możliwe jest więc zdefiniowanie takiej krzywej przez podanie:

- pięciu punktów krzywej lub
- czterech punktów krzywej oraz nachylenia krzywej w punkcie początkowym, lub
- trzech punktów krzywej oraz nachylenia krzywej w punkcie początkowym i końcowym.

We wszystkich definicjach krzywej czwartego stopnia musi wystąpić słowo LCONIC identyfikujące definiowaną konstrukcję właśnie jako krzywą czwartego stopnia.

Należy zauważyć, że system APT traktuje krzywą czwartego stopnia analogicznie do powierzchni II stopnia (poz. pkt 8 - postać kanoniczna krzywej IV stopnia). Obowiązują tu podobne uwagi, jak dla płaszczyzny (por. pkt 5.4).

Krzywa czwartego stopnia definiowana przez podanie pięciu punktów krzywej

Jest to już wyżej wspomniano, krzywą czwartego stopnia można zdefiniować jako krzywą przechodzącą przez pięć podanych punktów.

Definicja ma wówczas postać:

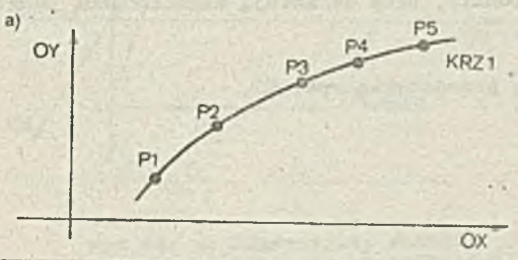
$$\text{NAZWA} = \text{LCONIC/5PT}, \begin{Bmatrix} x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4,x5,y5 \\ PT1,PT2,PT3,PT4,PT5 \end{Bmatrix}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej krzywej czwartego stopnia,

x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4,x5,y5 - są odpowiednimi współrzędnymi pięciu punktów krzywej czwartego stopnia,

PT1,PT2,PT3,PT4,PT5 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych punktów, bądź też definicjami zagnieżdżonymi punktów, będących punktami krzywej czwartego stopnia.

Przykład definiowania krzywej czwartego stopnia tą metodą przedstawia rys. 58.



KRZ1=LCONIC/5PT,P1,P2,P3,P4,P5

Rys.58. Przykład definiowania krzywej czwartego stopnia przez podanie pięciu punktów krzywej

Krzywa czwartego stopnia definiowana przez podanie czterech punktów i nachylenia

Krzywą czwartego stopnia można też zdefiniować przez podanie czterech punktów krzywej oraz nachylenia krzywej w pierwszym wyspecyfikowanym punkcie krzywej.

Definicja ta ma postać:

$$\text{NAZWA} = \text{LCONIC/4PT1SL}, \left\{ \begin{array}{l} x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4 \\ PT1,n1,PT2,PT3,PT4 \end{array} \right\}$$

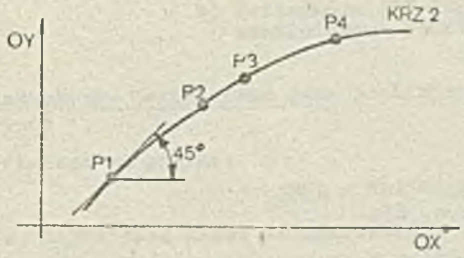
gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej krzywej czwartego stopnia,

x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4 - są odpowiednimi współrzędnymi czterech punktów krzywej czwartego stopnia,

n1 - jest nachyleniem krzywej czyli tangensem kąta, który tworzy styczna do krzywej wystawiona w pierwszym wyspecyfikowanym punkcie krzywej z osią OX,

PT1,PT2,PT3,PT4 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych punktów, bądź też definicjami zagnieżdżonymi punktów, będących punktami krzywej czwartego stopnia.

Przykład definiowania krzywej czwartego stopnia tą metodą przedstawia rys. 59.



KRZ2=LCONIC/4PT1SL,P1,1.Ø,P2,P3,P4

Rys.59. Przykład definiowania krzywej czwartego stopnia przez podanie czterech punktów krzywej i nachylenia w punkcie początkowym

Krzywa czwartego stopnia definiowana przez podanie trzech punktów oraz nachylenia w punkcie początkowym i końcowym

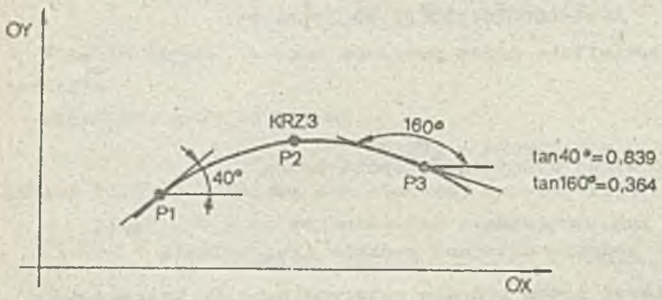
Krzywą czwartego stopnia można też zdefiniować przez podanie trzech punktów krzywej oraz nachylenia krzywej w wyspecyfikowanym punkcie początkowym i końcowym.

W tym wypadku postać definicji jest następująca:

$$\text{NAZWA} = \text{LCONIC/3PT2SL}, \left\{ \begin{array}{l} x1,y1,n1,x3,y3,n3,x2,y2 \\ PT1,n1,PT3,n3,PT2 \end{array} \right\}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej krzywej czwartego stopnia,
x1,y1 - są współrzędnymi punktu początkowego krzywej,
n1 - jest nachyleniem stycznej w punkcie początkowym krzywej,
x3,y3 - są współrzędnymi punktu końcowego krzywej,
n3 - jest nachyleniem stycznej w punkcie końcowym krzywej,
x2,y2 - są współrzędnymi punktu wewnętrznego krzywej,
PT1,PT3 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych punktów lub definicjami zagnieżdżonymi punktów, będących odpowiednio punktem początkowym i końcowym krzywej,
PT2 - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu, bądź definicją zagnieżdżoną punktu będącego punktem wewnętrznym krzywej.

Przykład definiowania krzywej stożkowej tą metodą przedstawia rys. 60.



KRZ3=LCONIC/3PT2SL,P1,0.839,P3,-0.364,P2

Rys.60. Przykład definiowania krzywej czwartego stopnia przez podanie trzech punktów krzywej i nachylenia w punkcie początkowym i końcowym

5.10. Definicje płaszczyzny

Płaszczyzna jest powierzchnią, która zawiera wszystkie punkty linii prostych łączących dowolne dwa punkty na tej powierzchni.

Wyróżnikiem tej grupy definicji jest słowo kluczowe PLANE, które musi wystąpić w każdej instrukcji definiującej płaszczyznę.

Płaszczyzna definiowana przez współczynniki równania płaszczyzny

Jeżeli ogólne równanie płaszczyzny zostanie zapisane jako

$$ax + by + cz - d = 0$$

to definicja płaszczyzny będzie miała postać:

NAZWA = PLANE/a,b,c,d

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej płaszczyzny,
a,b,c,d - współczynniki równania płaszczyzny.

Ilustracją zastosowania tej postaci instrukcji jest rys. 61.

Płaszczyzna zdefiniowana przez trzy należące do niej punkty

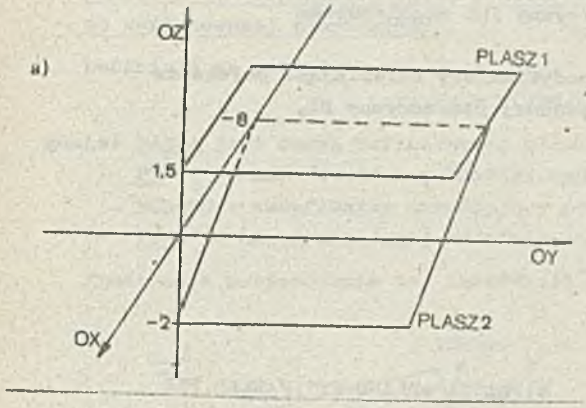
Ponieważ w sposób jednoznaczny można przeprowadzić płaszczyznę tylko przez punkty nie leżące na jednej prostej, więc warunkiem poprawności tej definicji jest, aby trzy dane punkty nie były współliniowe.

W tym przypadku postać definicji jest następująca:

NAZWA = PLANE/PT1,PT2,PT3

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej płaszczyzny,
PT1,PT2,PT3 - nazwy wcześniej zdefiniowanych punktów lub zagnieżdżone definicje punktów.

a)

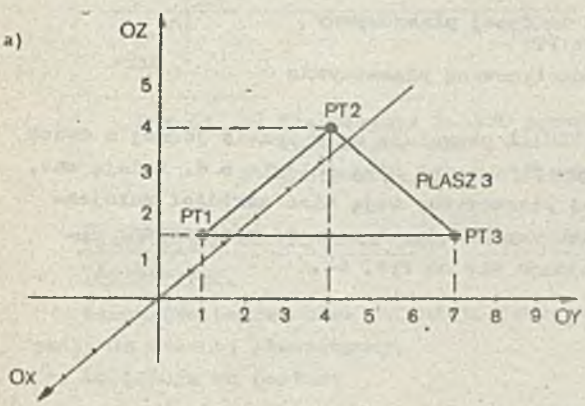


b) PLASZ1=PLANE/0,0,1,1.5
PLASZ2=PLANE/.5,0,2,-4

Rys.61. a) Płaszczyzny PLASZ1 i PLASZ2 zdefiniowane przez współczynniki równania ax+by+cz+d=0
b) Instrukcje APT definiujące skonstruowane płaszczyzny

Przykład zastosowania tej instrukcji znajduje się na rys. 62

a)



b) PT1=POINT/-2,1,1.5
PT2=POINT/-7,4,4
PT3=POINT/-2,7,1.5
PLASZ3=PLANE/PT1,PT2,PT3

Rys.62. a) Płaszczyzna PLASZ3 definiowana przez trzy punkty PT1,PT2,PT3
b) Instrukcje APT definiujące płaszczyznę przechodzącą przez zdefiniowane punkty

<u>Płaszczyzna definiowana jako przechodząca przez zadany punkt i równoległa do danej płaszczyzny</u>

Definicja ma postać:

<u>NAZWA</u> = PLANE/<u>PT</u>,PARLEL,<u>PL</u>

gdzie: <u>NAZWA</u> jest nazwą definiowanej płaszczyzny,
<u>PT</u> - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,
PARLEL - modyfikator oznaczający równoległość,
<u>PL</u> - nazwa wcześniej zdefiniowanej płaszczyzny lub zagnieżdżona definicja płaszczyzny.

Ilustracją zastosowania tej instrukcji jest rys. 63.

<u>Płaszczyzna definiowana jako równoległa do zadanej i położona w zadanej od niej odległości</u>

Definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA} = PLANE/PARLEL,\underline{PL}, \left\{\begin{array}{l} XLARGE \\ XSMALL \\ YLARGE \\ YSMALL \\ ZLARGE \\ ZSMALL \end{array}\right\}, d$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej płaszczyzny,

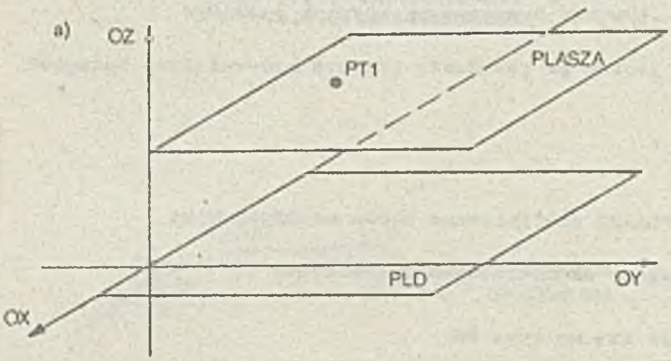
PARLEL - modyfikator oznaczający równoległość,

PL - nazwa wcześniej zdefiniowanej płaszczyzny lub zagnieżdżona definicja płaszczyzny,

XLARGE,XSMALL,YSMALL,XLARGE,ZLARGE,ZSMALL - modyfikatory określające położenie konstruowanej płaszczyzny względem podanej płaszczyzny PL,

d - odległość.

a)



b) PLASZA =PLANE/PT1,PARLEL,PLD

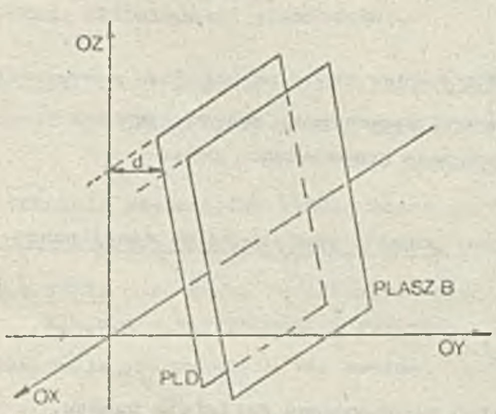
Rys.63. a) Płaszczyzna PLASZA równoległa do danej płaszczyzny PLD i przechodząca przez punkt PT1

b) Instrukcja APT definiująca skonstruowaną płaszczyznę

Modyfikatory XLARGE,XSMALL,YLARGE,YSMALL,ZLARGE,ZSMALL pozwalają na wybranie jednej z dwóch płaszczyzn, które są równoległe do podanej płaszczyzny PL i są od niej odległe o d. Podają one, czy odpowiednie współrzędne (x,y lub z) definiowanej płaszczyzny mają mieć wartości mniejsze (SMALL) lub większe (LARGE) w stosunku do odpowiednich współrzędnych podanej płaszczyzny PL.

Przykład zastosowania tej postaci instrukcji znajduje się na rys. 64.

a)



b) PLASZB=PLANE/PARLEL,PLD,YLARGE,7.5

Rys.64. a) Płaszczyzna PLASZB równoległa do danej płaszczyzny PLD i odległa od niej o d=7.5

b) Instrukcja APT definiująca skonstruowaną płaszczyznę

Płaszczyzna definiowana przez podanie należącego do niej punktu oraz wektora prostopadłego do definiowanej płaszczyzny

Definicja ma postać:

NAZWA = PLANE/PT,PERPTO,WE

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej płaszczyzny,

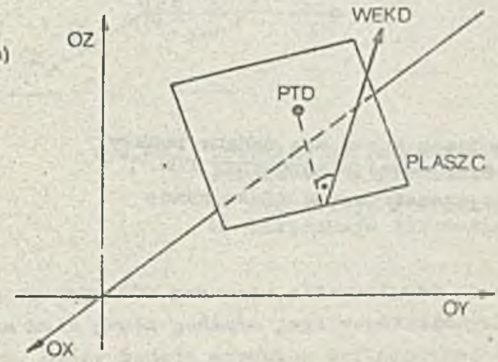
PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub zagnieżdżona definicja punktu,

PERPTO - modyfikator określający prostopadłość,

WE - nazwa wcześniej zdefiniowanego wektora lub zagnieżdżona definicja wektora.

Ilustracja zastosowania tej instrukcji znajduje się na rys. 65.

a)



b) PLASZC=PLANE/PTD,PERPTO,WEKD

Rys.65. a) Płaszczyzna PLASZC przechodząca przez punkt PTD i prostopadła do wektora WEKD

b) Instrukcja APT definiująca skonstruowaną płaszczyznę

Płaszczyzna definiowana jako przechodząca przez dwa zadane punkty i prostopadła do podanej płaszczyzny

Warunkiem poprawności definicji jest, aby prosta łącząca dwa zadane punkty nie była prostopadła do zadanej płaszczyzny.

Definicja ma postać:

$$\text{NAZWA} = \text{PLANE/} \begin{Bmatrix} \text{PERPTO,PL,PT1,PT2} \\ \text{PT1,PT2,PERPTO,PL} \end{Bmatrix}$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej płaszczyzny,

PERPTO - modyfikator określający prostopadłość,

PL - nazwa wcześniej zdefiniowanej płaszczyzny lub zagnieżdżona definicja płaszczyzny,

PT1,PT2 - nazwy wcześniej zdefiniowanych punktów lub zagnieżdżone definicje punktów.

Ilustracją zastosowania tej instrukcji definiującej jest rys. 66. Przedstawiono na nim alternatywne sposoby definiowania płaszczyzny PLASZD.

Płaszczyzna definiowana jako przechodząca przez zadany punkt i prostopadła do dwóch danych przecinających się płaszczyzn

Definicja ma postać:

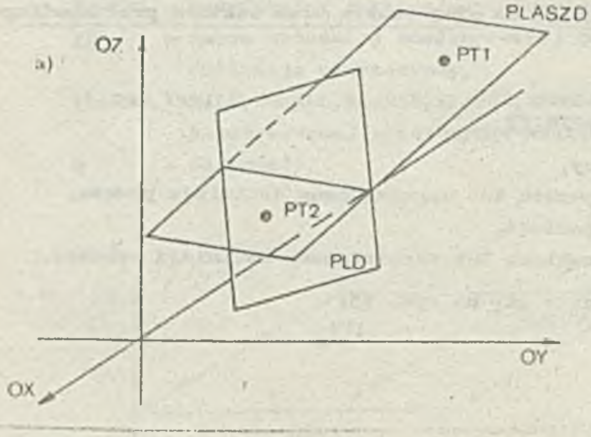
NAZWA = PLANE/PT,PERPTO,PL1,PL2

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej płaszczyzny,

PT - nazwa wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicja zagnieżdżona punktu,

PERPTO - modyfikator określający prostopadłość,

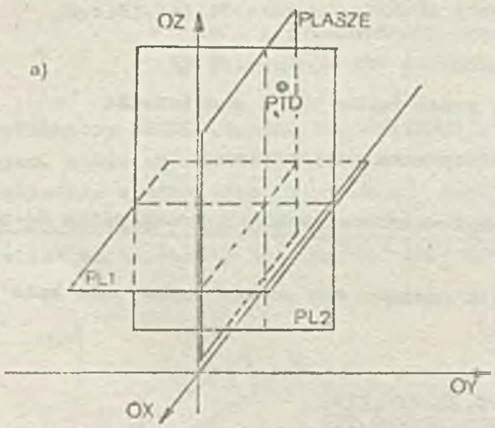
PL1,PL2 - nazwy wcześniej zdefiniowanych płaszczyzn lub zagnieżdżone definicje płaszczyzny.



b) PLASZD=PLANE/PERPTO,PLD,PT1,PT2
lub
PLASZD=PLANE/PT1,PT2,PERPTO,PLD

Rys.66. a) Płaszczyzna PLASZD przechodząca przez dwa zadane punkty PT1 i PT2 oraz prostopadłe do danej płaszczyzny PLD
b) Instrukcje APT definiujące skonstruowaną płaszczyznę

Instrukcja ta jest zilustrowana na rys. 67.



b) PLASZE=PLANE/PTD,PERPTO,PL1,PL2

Rys.67. a) Płaszczyzna PLASZE przechodząca przez punkt PTD i prostopadła do dwóch danych przecinających się płaszczyzn PL1 i PL2
b) Instrukcja APT definiująca skonstruowaną płaszczyznę

5.11. Definicje kuli

System APT dopuszcza kilka sposobów definiowania kuli. W każdej takiej instrukcji definiującej musi wystąpić słowo kluczowe SPHERE.

Kula definiowana przez podanie punktu środkowego i promienia

Kulę można zdefiniować określając jej punkt środkowy oraz promień. Punkt środkowy można podać w postaci jego nazwy, bądź też w postaci jego współrzędnych.

W tym wypadku definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA} = SPHERE/\left\{\begin{matrix} x,y,z \\ \underline{PT} \\ CENTER,\underline{PT},RADIUS \end{matrix}\right\},r$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej kuli,
x,y,z - są współrzędnymi środka kuli,
CENTER - oznacza, że zostanie podany środek kuli,

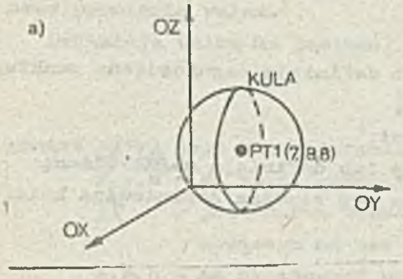
PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu, bądź też definicją zagnieżdżoną punktu. Punkt ten jest traktowany jako środek kuli,

RADIUS - oznacza, że będzie podany promień kuli,

r - jest promieniem kuli.

Przykład definiowania kuli tą metodą przedstawia rys. 68.

a)



b) KULA=SPHERE/7,8,8,5
lub
KULA=SPHERE/PT1,5
lub
KULA=SPHERE/CENTER,PT1,RADIUS,5

Rys.68. Przykład definiowania kuli przez podanie punktu środkowego i promienia
a) ilustracja graficzna
b) instrukcja APT definiująca kulę

Na rysunku 68b pokazano alternatywne sposoby zdefiniowania tej samej kuli: przez określenie środka kuli przez podanie jego współrzędnych oraz przez podanie nazwy wcześniej zdefiniowanego punktu, który będzie środkiem definiowanej kuli.

Kula definiowana przez podanie punktu środkowego i punktu na powierzchni

Kulę można też zdefiniować podając punkt środkowy kuli i jeden punkt leżący na powierzchni kuli. Taka definicja ma postać:

NAZWA = SPHERE/CENTER,PT1,PT2

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej kuli,

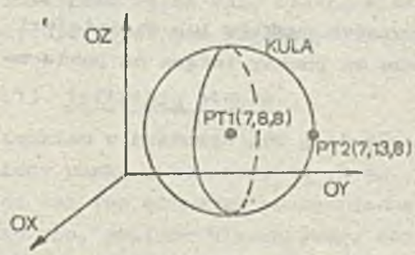
CENTER - oznacza, że zostanie podany środek kuli,

PT1 - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu. Punkt ten jest uważany za środek kuli,

PT2 - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu. Punkt ten jest uważany za punkt leżący na powierzchni kuli.

Przykład definiowania kuli tą metodą przedstawia rys. 69.

a)



b) KULA=SPHERE/CENTER,PT1,PT2

Rys.69. Przykład definiowania kuli przez podanie punktu środkowego i punktu leżącego na powierzchni kuli
a) ilustracja graficzna
b) ilustracja APT definiująca kulę

Kula definiowana przez podanie punktu środkowego i płaszczyzny stycznej

W celu jednoznacznego zdefiniowania kuli można też podać jej punkt środkowy oraz płaszczyznę, do której ma być styczna definiowana kula.

Definicja taka ma postać:

NAZWA = SPHERE/CENTER,PT,TANTO,PL

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej kuli,

CENTER - oznacza, że zostanie podany środek kuli,

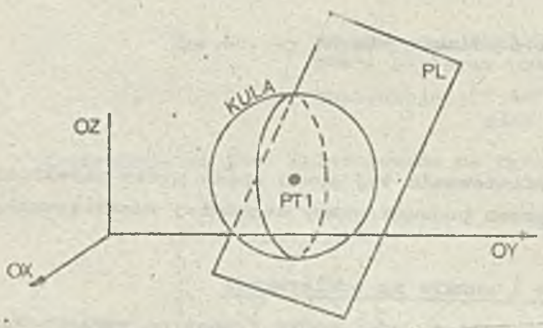
PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu; punkt ten jest uważany za punkt środkowy kuli,

TANTO - oznacza, że ma być spełniony warunek styczności,

PL - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej płaszczyzny lub definicją zagnieżdżoną płaszczyzny. Jest to płaszczyzna, do której ma być styczna definiowana kula.

Przykład definiowania kuli tą metodą przedstawia rys. 70.

a)



b) KULA=SPHERE/CENTER,PT1,TANTO,PL

Rys.70. Przykład definiowania kuli przez podanie punktu środkowego i płaszczyzny stycznej
a) ilustracja graficzna
b) ilustracja języka APT definiująca kulę

Kula definiowana jako powierzchnia przechodząca przez cztery punkty

Kulę można też zdefiniować podając cztery punkty, które mają leżeć na jej powierzchni. Oczywiście punkty te nie mogą leżeć na jednej płaszczyźnie.

W tym wypadku definicja kuli ma postać:

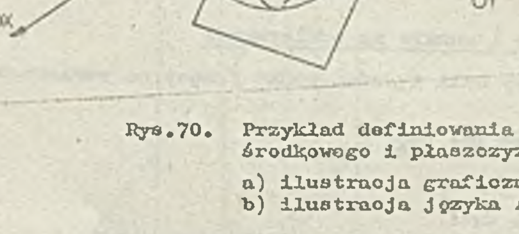
NAZWA = SPHERE/PT1,PT2,PT3,PT4

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanej kuli,

PT1 ,PT2,PT3,PT4 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych punktów lub definicjami zagnieżdżonymi punktów. Punkty te są uważane za punkty leżące na powierzchni kuli.

Przykład definiowania kuli tą metodą przedstawia rys. 71.

a)



b) KULA=SPHERE/PT1,PT2,PT3,PT4

Rys.71. Przykład definiowania kuli przez podanie czterech punktów leżących na powierzchni kuli
a) instrukcja graficzna
b) instrukcja języka APT definiująca kulę

5.12. Definicja walca

W systemie APT walcem nazywamy zbiór punktów równoodległych od danej prostej, czyli jest to w istocie powierzchnia walcowa. W definicji walca występuje słowo kluczowe CYLNDR, identyfikujące ten typ elementu geometrycznego.

Walec można definiować przez podanie punktu leżącego na osi walca, wektora kierunkowego osi oraz promienia walca.

Definicja walca ma postać:

$$\underline{NAZWA} = CYLNDR/\left\{\begin{matrix} x,y,z \\ \underline{PT} \end{matrix}\right\},\left\{\begin{matrix} a,b,c \\ \underline{WE} \end{matrix}\right\},r$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanego walca,

x,y,z - są współrzędnymi punktu leżącego na osi walca,

PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu leżącego na osi walca

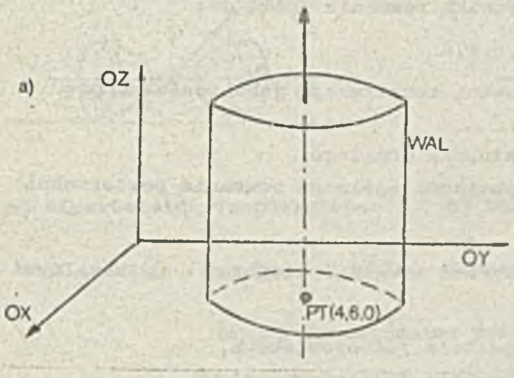
a,b,c - są składowymi wektora kierunkowego osi walca,

WE - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego wektora lub definicją zagnieżdżoną wektora leżącego na osi walca,

r - jest promieniem kuli.

Przykłady definiowania walca przedstawia rys. 72. Przedstawiono na nim alternatywne sposoby

a)



b) WAL=CYLNDR/ 4,6,0,0,0,1,3
WAL=CYLNDR/PT,0,0,1,3

Rys.72. Przykłady definiowania walca

a) ilustracja graficzna
b) instrukcje języka APT definiujące walec

zdefiniowania walca WAL, różniące się między sobą sposobem podania punktu leżącego na osi walca, tj. w postaci jego współrzędnych, bądź też nazwy wcześniej zdefiniowanego punktu.

5.13. Definicja stożka

Stożkiem w systemie APT jest powierzchnia utworzona przez linię prostą przechodzącą przez ustalony punkt i zataczającą okrąg. W definicji musi wystąpić słowo kluczowe CONE identyfikujące ten typ elementu geometrycznego. Stożek definiuje się więc przez podanie punktu wierzchołkowego, wektora kierunkowego osi oraz połowy kąta wierzchołkowego.

Wobec tego definicja ma postać:

$$\underline{NAZWA} = CONE/\underline{PT},\underline{WE},\alpha$$

gdzie: NAZWA jest nazwą definiowanego stożka,

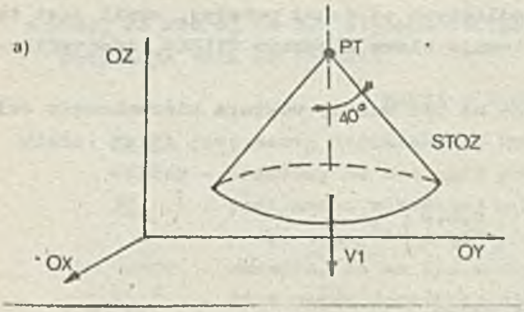
PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu,

WE - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego wektora lub definicją zagnieżdżoną wektora kierunkowego osi stożka,

α - jest połową kąta przy wierzchołku stożka.

Przykład definiowania stożka tą metodą przedstawia rys. 73.

a)



b) STOZ=CONE/PT,V1,40

Rys.73. Przykład definiowania stożka
a) ilustracja graficzna
b) ilustracja języka APT definiująca stożek

5.14. Definicja powierzchni stopnia drugiego

Powierzchnią stopnia drugiego w systemie APT nazywamy zbiór punktów spełniających następujące ogólne równanie drugiego stopnia:

$$Ax^2+By^2+Cz^2+2Fyz+2Gxz+2Hxy+2Px+2Qy+2Rz+D=0$$

Powierzchnię tę można zdefiniować podając współczynniki równania ogólnego:

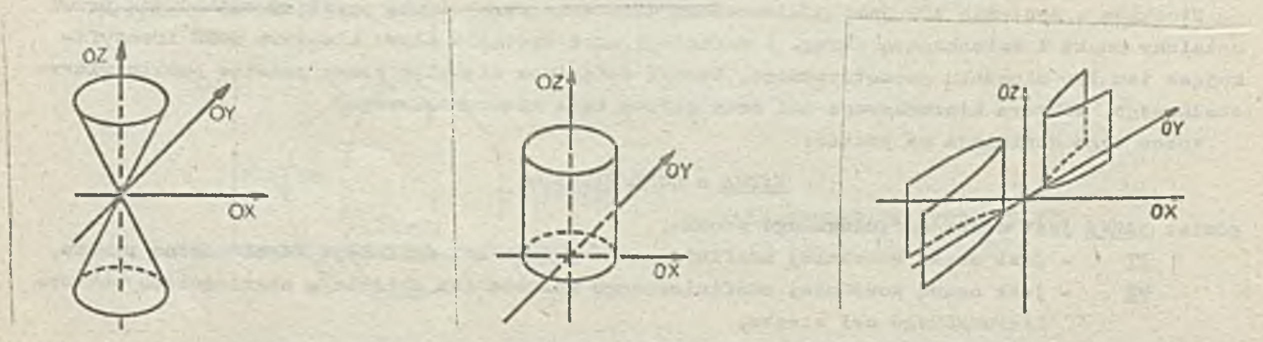
<u>NAZWA</u> = QADRIC/a,b,c,f,g,h,p,q,r,d

gdzie: QADRIC - słowo kluczowe identyfikujące definiowaną konstrukcję jako powierzchnię drugiego stopnia,
<u>NAZWA</u> - jest nazwą definiowanej powierzchni stopnia drugiego,
a,b,c,f,g,h,p,q,r,d - są odpowiednimi współczynnikami ogólnego równania powierzchni stopnia drugiego.

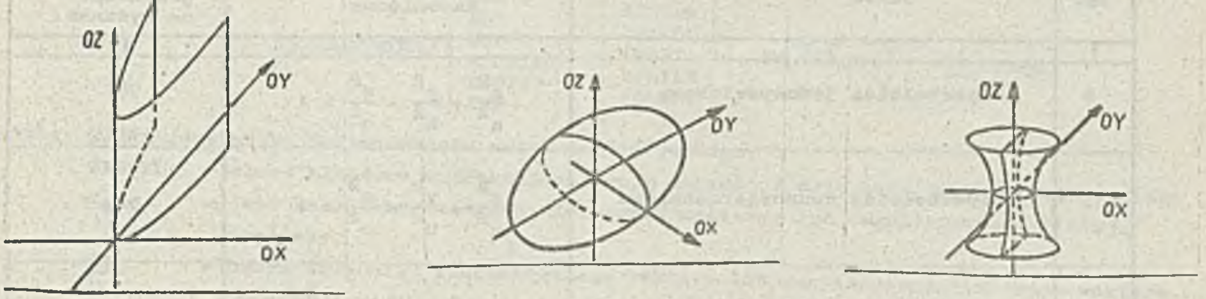
Zgodnie z wyżej podanym ogólnym określeniem powierzchni drugiego stopnia, dopuszczalnymi powierzchniami w systemie APT są:

- stożek eliptyczny,
- walec eliptyczny,
- walec hiperboliczny,
- walec paraboliczny,
- elipsoida rzeczywista
- hiperbola jednopowłokowa,
- hiperbola dwupowierzchniowa,
- paraboloida eliptyczna,
- paraboloida hiperboliczna.

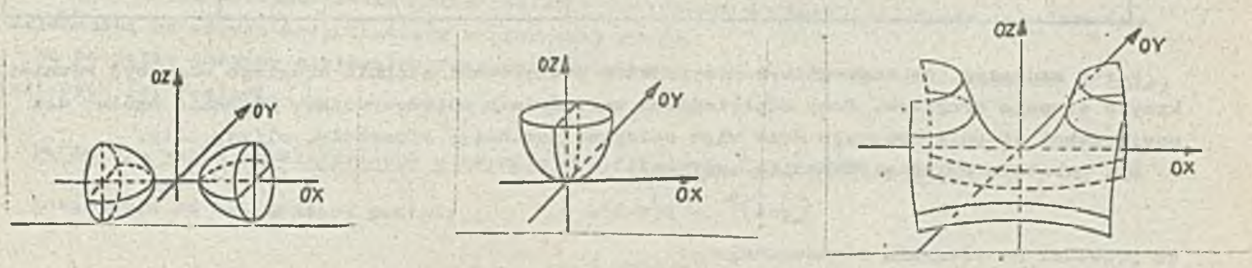
Przykład dopuszczalnych powierzchni stopnia drugiego przedstawia rys. 74, zaś w tab. 6 podano równania kanoniczne dla poszczególnych dopuszczalnych typów powierzchni stopnia drugiego.



a) stożek eliptyczny b) walec eliptyczny c) walec hiperboliczny



d) walec paraboliczny e) elipsoida rzeczywista f) hiperbola jednopowłokowa



g) hiperboloida dwupowłokowa h) paraboloida eliptyczna i) paraboloida hiperboliczna

Rys.74. Przykłady dopuszczalnych powierzchni stopnia drugiego

Tab.6. Dopuszczalne postacie powierzchni stopnia drugiego

Lp.	Nazwa	Równanie kanoniczne	Ilustracja graficzna na rysunku:
1	2	3	4
1	Stożek eliptyczny	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0$	74a
2	Walec eliptyczny	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$	74b
3	Walec hiperboliczny	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$	74c
4	Walec paraboliczny	$y^2 = px$	74d
5	Elipsoida rzeczywista	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$	74e

Lp.	Nazwa	Równanie kanoniczne	Ilustracja graficzna na rysunku:
1	2	3	4
6	Hiperboloida jednopowłokowa	$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$	74f
7	Hiperboloida dwupowierzchniowa	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1$	74g
8	Paraboloida eliptyczna	$-\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 2cz$	74h
9	Paraboloida hiperboliczna	$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 2cz$	74i

Warto zauważyć, że szczególnym przypadkiem powierzchni stopnia drugiego mogą być również krzywe stopnia drugiego. Przy odpowiednich wartościach współczynników równanie ogólne dla powierzchni stopnia drugiego może więc opisywać parabolę, hiperbolę, elipsę, itp.

Np. parabola opisana równaniem ogólnym.

$$(y-a)^2 - p(x-b) = 0$$

co prowadzi do równania równoważnego

$$y^2 - 2ay - px + (pb+a^2) = 0$$

może być zdefiniowana jako powierzchnia stopnia drugiego następującą instrukcją odpowiadającą ogólnej instrukcji definiującej powierzchnie drugiego stopnia:

PARAB = QADRIC/0,1,0,0,0,0,A,B,0,C

gdzie: A=-p

B=-2·a

C=p·b + a··2

Podobnie elipsa opisywana przez równanie ogólne

$$Ax^2 + By^2 + Cx + Dy + E = 0$$

może być zdefiniowana jako powierzchnia stopnia drugiego instrukcją:

ELIPSA = QADRIC/A,B,0,0,0,0,C,D,0,E

5.15. Definicja walca tabolaryoznego

Walec tabelaryczny jest powierzchnią, która powstaje przez przesuwanie prostej (tworzącej) wzdłuż krzywej przestrzennej (kierownicy) tak, aby przez cały czas była zachowana równoległość do zadanej prostej. Krzywa przestrzenna jest zadana przez zbiór punktów i zastosowanie schematu interpolacyjnego między punktami.

Krzywa przestrzenna może być zdefiniowana przez maksymalnie 139 punktów. Jednakże niektóre z instrukcji definiujących walec tabelaryczny nie dają możliwości wykorzystania tej liczby punktów, ponieważ mogłoby nastąpić przekroczenie ograniczenia na maksymalną liczbę elementów występujących w jednej instrukcji (liczba ta wynosi 600). Ograniczenie dotyczące liczby punktów uzależnione jest wówczas od liczby elementów użytych do opisu każdego punktu. O postaci opisu punktów decyduje programista piszący program obróbki części.

Ogólna postać instrukcji definiującej walec tabelaryczny jest następująca:

$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=TABCYL/}\left\{\begin{array}{l}\text{NOX}\\ \text{NOY}\\ \text{NOZ}\\ \text{RTHETA}\\ \text{THETAR}\\ \text{XYZ}\end{array}\right\}, \left\{\begin{array}{l}\text{PTNORM}\\ \text{PTSLOP}\\ \text{TWOPT}\\ \text{SPLINE}\\ \text{FOURPT}\end{array}\right\}\left[,\ \text{TRFORM},\underline{\text{MA}}\right]\left[,\ \underline{\text{WE}},\ \text{dane}\right]$$

gdzie: <u>NAZWA</u> jest nazwą definiowanego walca tabelarycznego,

TABCYL – słowo kluczowe wyróżniające grupę definicji dotyczącą walca tabelarycznego,

<u>MA</u> – jest nazwą wcześniej zdefiniowanej macierzy lub zagnieżdżoną definicją macierzy,

<u>WE</u> – nazwa wcześniej zdefiniowanego wektora lub zagnieżdżona definicja wektora (występuje tylko w wypadku użycia formatu XYZ),

dane – postać danych występujących w instrukcji uzależniona jest od konkretnej postaci danej instrukcji.

Modyfikatory występujące w definicji wraz z możliwymi konfiguracjami, w jakich mogą się pojawić, zostaną omówione szczegółowo w dalszym ciągu niniejszego rozdziału.

Omówimy teraz kolejno poszczególne postacie instrukcji definiującej walec tabelaryczny w zależności od użycia modyfikatorów z pierwszej grupy.

Na początku omówimy opcjonalny fragment instrukcji, który może wystąpić w każdej z dalej omawianych jej postaci.

<u>Definicja walca tabelarycznego z użyciem modyfikatorów NOZ, RTHETA, THETAR</u>

Instrukcja ma następującą postać:

$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=TABCYL/}\left\{\begin{array}{l}\text{NOZ}\\ \text{RTHETA}\\ \text{THETAR}\end{array}\right\}, \left\{\begin{array}{l}\text{PTNORM}\\ \text{PTSLOP}\\ \text{TWOPT}\\ \text{SPLINE}\\ \text{FOURPT}\end{array}\right\}\left[,\ \text{TRFORM},\underline{\text{MA}}\right],\ \text{dane}$$

W tej postaci definicji dane znajdują się na płaszczyźnie XY, tworząca jest normalną do płaszczyzny XY, a transformacja układu współrzędnych dotyczy jedynie płaszczyzny XY.

Jeśli wystąpi NOZ, to podane punkty określone są współrzędnymi x,y. Wystąpienie modyfikatorów RTHETA lub THETAR wskazuje, że współrzędne występują w postaci biegunowej, przy czym:

RTHETA implikuje zapis: $R_1, \theta_1, R_2, \theta_2, \ldots, R_n, \theta_n$ natomiast

THETAR wymaga kolejności: $\theta_1, R_1, \theta_2, \ldots, \theta_n, R_n$

gdzie: R_i jest promieniem podanym w stosowanych jednostkach,

θ_i jest kątem mierzonym od dodatniej półosi OX w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara.

Omówione zostaną kolejno postacie instrukcji z zastosowaniem poszczególnych modyfikatorów z drugiej grupy.

Dla ustalenia uwagi użyty zostanie tutaj modyfikator NOZ (dla modyfikatorów RTHETA i THETAR zmieni się jedynie postać podawania współrzędnych punktów).

• Modyfikator PTNORM

Opcja ta jest używana wówczas, gdy przy każdym podanym punkcie wprowadzana jest normalna do krzywej, mierzona przeciwnie do ruchu wskazówek zegara od dodatniej półosi OX.

Za pomocą interpolacji na podstawie określonych w każdym punkcie normalnych definiowana jest cała seria krzywych przechodzących przez dane punkty.

Instrukcja ma następującą postać:

$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=TABCYL/NOZ, PTNORM, }[\text{TRFORM},\underline{\text{MA}},]\ x_1, y_1, n_1, y_2, x_2, n_2, \ldots, x_n, y_n, n_n$$

gdzie: $x_1, x_2, \ldots, x_n$ - współrzędne "x" kolejnych n punktów,

$y_1, y_2, \ldots, y_n$ - współrzędne "y" tych punktów,

$n_1, n_2, \ldots, n_n$ - kąty określające położenie normalnych w poszczególnych punktach.

• Modyfikator PTSLOP

Opcji tej używa się, jeśli można podać przy każdym punkcie nachylenie s, które definiuje się jako stosunek przyrostu wartości do przyrostu argumentu, czyli $s = \frac{\Delta y}{\Delta x}$.

Instrukcja przyjmuje w tym wypadku następującą postać:

NAZWA=TABCYL/NOZ,PTSLOP, [TRFORM,MA,] $x_1, y_1, s_1, x_2, y_2, s_2, \ldots, x_n, y_n, s_n$

gdzie: (x_i, y_i) - określa i-ty punkt dla $i \in \langle 1,n \rangle$

s_i - nachylenie w i-tym punkcie.

• Modyfikator TWOPT

Opcji tej używa się wówczas, gdy możemy podać normalne lub nachylenia jedynie dla wybranych punktów. W tym wypadku w pozostałych punktach system APT oblicza wartość nachylenia lub normalnej. Następnie przetwarzanie przebiega tak samo, jak w wypadku modyfikatora PTNORM czy PTSLOP.

Postać instrukcji jest następująca:

NAZWA=TABCYL/NOZ,TWOPT, [TRFORM,MA,] $x_1, y_1, \left[\begin{Bmatrix} \text{SLOPE}, s \\ \text{NORMAL}, n \end{Bmatrix}\right], \; x_2, y_2, \left[\begin{Bmatrix} \text{SLOPE}, s_2 \\ \text{NORMAL}, n_2 \end{Bmatrix}\right], \ldots$

$x_n, y_n, \left[\begin{Bmatrix} \text{SLOPE}, s_n \\ \text{NORMAL}, n_n \end{Bmatrix}\right]$

gdzie: (x_i, y_i) - kolejne punkty dla $i \in \langle 1,n \rangle$

s_i - nachylenie w i-tym punkcie,

n_i - normalna (jej kąt) w i-tym punkcie.

• Modyfikator SPLINE

W tym wypadku instrukcja ma postać analogiczną do postaci związanej z modyfikatorem TWOPT. Różni się jedynie procesem przetwarzania. Nachylenia i normalne obliczane będą dotąd, dopóki krzywa jest ciągła.

Postać instrukcji jest następująca:

NAZWA=TABCYL/NOZ,SPLINE, [TRFORM,MA,] $x_1, y_1, \left[\begin{Bmatrix} \text{SLOPE}, s_1 \\ \text{NORMAL}, n_1 \end{Bmatrix}, \right] \; x_2, y_2, \left[\begin{Bmatrix} \text{SLOPE}, s_2 \\ \text{NORMAL}, n_2 \end{Bmatrix}, \right] \ldots,$

$x_n, y_n, \left[\begin{Bmatrix} \text{SLOPE}, s_n \\ \text{NORMAL}, n_n \end{Bmatrix}\right]$

gdzie: (x_i, y_i) - kolejne punkty dla $i \in \langle 1,n \rangle$

s_i - nachylenie w i-tym punkcie,

n_i - normalna podana w kątach w i-tym punkcie.

• Modyfikator FOURPT

Instrukcja, przy zastosowaniu tej opcji, definiuje serię krzywych. Każda z tych krzywych przechodzi przez cztery kolejne punkty wyjściowe. Tak otrzymany walec tabelaryczny nie ma stałego nachylenia.

Postać instrukcji przy opcji FOURPT jest następująca:

NAZWA=TABCYL/NOZ, FOURPT, [TRFORM, MA,] $x_1, y_1, x_2, y_2, \ldots, x_n, y_n$

gdzie: x_i, y_i - współrzędne i-tego punktu dla $i \in \langle 1, n \rangle$.

Omówienie modyfikatora TRFORM zamieszczono na końcu niniejszego punktu (5.15).

Definicje walca tabelarycznego z użyciem modyfikatorów NOX, NOY

Modyfikatory NOX, NOY definiują płaszczyznę odniesienia dla danych:

NOX implikuje płaszczyznę YZ i przy tej opcji wymagane jest podanie współrzędnych y,z w kolejności: $y_1, z_1, y_2, z_2, \ldots, y_n, z_n$. Analogicznie

NOY implikuje płaszczyznę ZX i związaną z nią kolejność występowania punktów: $z_1, x_1, z_2, x_2, \ldots, z_n, x_n$.

Postacie instrukcji dla tych modyfikatorów są analogiczne do wypadku modyfikatora NOZ (różnica polega jedynie na tym, że płaszczyzna odniesienia jest inna).

Ogólna postać instrukcji jest wobec tego następująca:

$$\text{NAZWA=TABCYL/} \begin{Bmatrix} \text{NOX} \\ \text{NOY} \end{Bmatrix}, \begin{Bmatrix} \text{PTNORM} \\ \text{PTSLOP} \\ \text{TWOPT} \\ \text{SPLINE} \\ \text{FOURPT} \end{Bmatrix}, [\text{TRFORM, MA,}] \text{ dane}$$

natomiast szczegółowe postacie tej definicji są analogiczne do tych, które przedstawiono już uprzednio dla opcji NOZ.

Definiowanie walca tabelarycznego z użyciem modyfikatorów XYZ

Format związany z wystąpieniem modyfikatora XYZ wymaga podania wektora WE w instrukcji definiującej. Wektor ten reprezentuje tworzącą. Nachyleń ani normalnych nie należy podawać, gdyż system APT sam decyduje, która współrzędna płaszczyzny wpływać będzie na wybór odpowiedniej krzywej.

Postać instrukcji jest następująca:

$$\text{NAZWA=TABCYL/XYZ,} \begin{Bmatrix} \text{TWOPT} \\ \text{SPLINE} \\ \text{FOURPT} \end{Bmatrix}, [\text{TRFORM, MA,}] \text{ WE}, x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \ldots x_n, y_n, z_n$$

gdzie: x_i, y_i, z_i - współrzędne przestrzenne i-tego punktu dla $i \in \langle 1, n \rangle$.

Opcje TWOPT, SPLINE, FOURPT mają postać analogiczną do tych samych opcji opisanych dla modyfikatora NOZ z tym, że nie jest w tym wypadku podawane nachylenie, ani normalne.

Znaczenie modyfikatora TRFORM w definicjach walca tabelarycznego

Jeżeli walec tabelaryczny chcemy wykorzystać w innym układzie odniesienia niż był zdefiniowany, nie można stosować do tego celu instrukcji REFSYS (zob. pkt 6).
Należy stosować wówczas transformację w samej instrukcji definiującej walec tabelaryczny przez użycie modyfikatora TRFORM.

Załóżmy, że dane wejściowe dla walca tabelarycznego zostały zdefiniowane w lokalnym układzie współrzędnych. W celu wykorzystania tego walca w bazowym układzie współrzędnych obowiązującym w całym tworzonym programie obróbki części powinien być definiowany walec w układzie bazowym czyli można to zrealizować właśnie za pomocą podania modyfikatora TRFORM oraz macierzy definiującej układ lokalny - MA w układzie bazowym. Dzięki temu dane zostają efektywnie przekształcone do układu bazowego.

Wszystkie wejściowe dane geometryczne, występujące w definicji walca tabelarycznego są transformowane niezależnie od tego w jakiej postaci są zadane. Dotyczy to nazw symbolicznych, zagnieżdżonych definicji punktów, jak też podanych jawnie współrzędnych w układzie prostokątnym lub biegunowym. Transformowane są również współczynniki nachylenia i wektory podane w formacie XYZ.

Walec tabelaryczny ma być także zastosowany w lokalnym układzie odniesienia, natomiast zdefiniować go chcemy za pomocą danych wywoływanych w układzie bazowym lub przeniesionych do tego układu. W tej sytuacji macierz podana przy TRFORM powinna być macierzą odwrotną do tej, która definiuje lokalny układ współrzędnych w układzie bazowym.

Zastosowanie transformacji z macierzą odwrotną umożliwi poprawne przeniesienie danych wejściowych.

Należy przy tym zauważyć, że niektóre dane wejściowe zdefiniowane w innym układzie niż aktualny układ lokalny mogą być również przekształcone do układu bazowego. Ma to miejsce na przykład, gdy dane umieszczone zostają w definicji walca tabelarycznego przed zastosowaniem transformacji TRFORM.

Walec tabelaryczny może być również zdefiniowany w postaci kanonicznej:

NAZWA=TABCYL/CANON,n,k,$m_1,\dots,m_9,u_1,v_1,a_1,b_1,c_1,r_1,u_2,v_2,a_2,b_2,c_2,r_2,\dots,u_n,v_n,a_n,b_n,c_n,$

r_n,u_{n+1},v_{n+1}

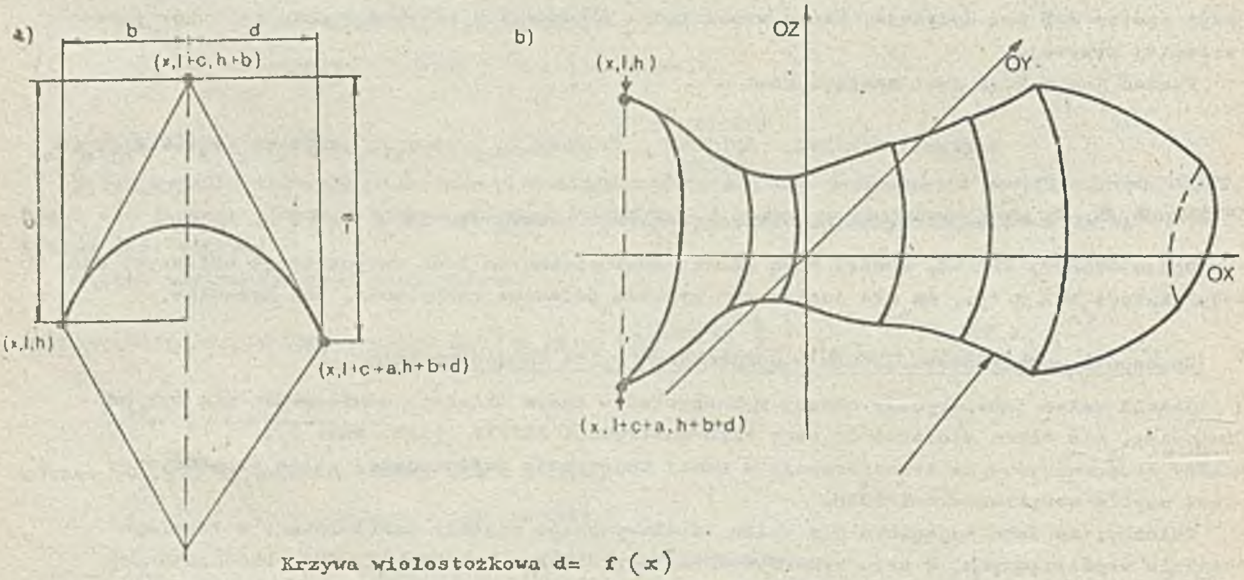
gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego walca tabelarycznego,

CANON - modyfikator określający, że walec tabelaryczny przedstawiony jest w definicji w postaci kanonicznej,

dane występujące w dalszej części instrukcji będą omówione szczegółowo w punkcie dotyczącym postaci kanonicznych

5.16. Definicja powierzchni wielostożkowej

Powierzchnia wielostożkowa jest definiowana jako ciągła rodzina wycinków krzywych stożkowych leżących w płaszczyznach równoległych. Kształt powierzchni stożkowych jest określany przez zbiór krzywych wielostożkowych (rys.75).



Krzywa wielostożkowa d= f (x)

dla x ∈ $\langle c_b, c_b+p_b \rangle$ d ∈ $\langle 0,1 \rangle$

Dla każdego punktu krzywej wielostożkowej: y=g(d)

z=h(d)

nachylenie w punkcie (x,y,z) jest f(d)

Rys.75. Przykład powierzchni wielostożkowej

a) wycinek powierzchni stożkowej

b) powierzchnia wielostożkowa

Powierzchnia wielostożkowa definiowana może być tylko w postaci kanonicznej. Parametry do tej postaci obliczane są przez specjalny podprogram systemu APT. Każda instrukcja definiująca powierzchnię wielostożkową ma słowo kluczowe POLCON stanowiące wyróżnik tej grupy instrukcji.

<u>NAZWA</u>=POLCON/CANON, $k, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7, m_8, m_9$,\$

$m_{10}, m_{11}, m_{12}, t, ob, pb, a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$,\$

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7$,\$

$d_0, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, l_0, l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7$,\$

$h_0, h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7$,\$

$a_{1/2}, b_{1/2}, c_{1/2}, l_{1/2}, h_{1/2}, p_{1/2}$ \$\$

gdzie: <u>NAZWA</u> - jest nazwą definiowanej powierzchni wielostożkowej

CANON - modyfikator określający postać kanoniczną definicji,

$k = \begin{cases} 1 & \text{jeśli wśród współczynników równań występuje współczynnik przy pierwiastku kwadratowym (przynajmniej w jednym równaniu),} \\ 2 & \text{w pozostałych wypadkach.} \end{cases}$

m_i dla $i \in \langle 1, 12 \rangle$ elementy macierzy transformacji (w szczególności mogą to być same zera - macierz zerowa).

t - odległość między powierzchnią definiowaną, a powierzchnią roboczą,

ob - punkt początkowy krzywej (początek powierzchni wielostożkowej),

pb - długość danego fragmentu powierzchni wielostożkowej,

$a_0, \ldots, a_7, a_{1/2}$
$b_0, \ldots, b_7, b_{1/2}$
$c_0, \ldots, c_7, c_{1/2}$
$d_0, \ldots, d_7, d_{1/2}$
$l_0, \ldots, l_7, l_{1/2}$
$h_0, \ldots, h_7, h_{1/2}$
$p_0, \ldots, p_7, p_{1/2}$
} Współczynniki równań powierzchni

Równania to mają postać:

$$f(d) = a_{1/2}\sqrt{d} + a_0 + a_1 d + a_2 d^2 + a_3 d^3 + a_4 d^4 + a_5 d^5 + a_6 d^6 + a_7 d^7$$

$$f(d) = b_{1/2}\sqrt{d} + b_0 + a_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3 + b_4 d^4 + b_5 d^5 + b_6 d^6 + b_7 d^7 \text{ , itp.}$$

Współczynniki przy pierwiastkach kwadratowych dla wszystkich równań powierzchni podane są jako ostatnie parametry w instrukcji. Wszystkie te współczynniki mogą być wyzerowane, ale wówczas musi być podano k=1 .

Powierzchnię wielostożkową ilustruje rys. 75.

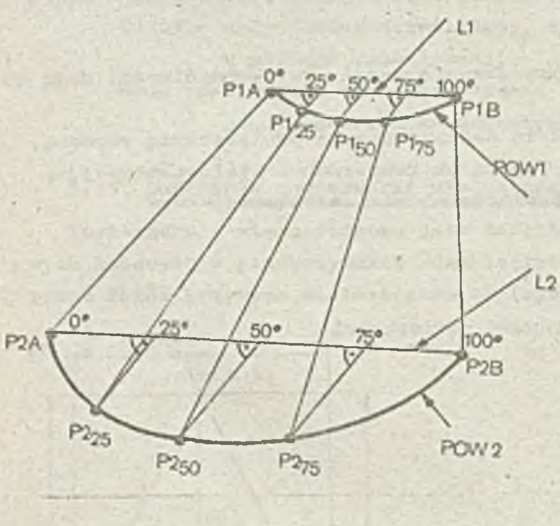
Programista obróbki części musi zwrócić uwagę na fakt, że powierzchnie wielostożkowe są powierzchniami ograniczonymi. W związku z tym przy próbie ruchu wzdłuż powierzchni wielostożkowej wzdłuż osi obrotu wystąpi błąd w programie obróbki części, o ile wartość x położenia narzędzia skrawającego jest mniejsza niż cb albo większa od (ob+pb) .

Możliwe jest również wystąpienie błędu przy próbie przejścia z jednej powierzchni wielostożkowej na inną, gdy granice między nimi są zdefiniowane jako styczne, tzn. gdy dla obydwu powierzchni jedno z ograniczeń jest takie samo. Wskazane jest wówczas zdefiniowanie powierzchni pseudoograniczającej i zastosowanie instrukcji przesuwu wstępnego w celu uzyskania prawidłowego położenia względem następnej powierzchni wielostożkowej.

5.17. Definicja powierzchni prostokreślnej

Powierzchnię prostokreślną nazywamy powierzchnię generowaną przez linie proste łączące punkty dwóch krzywych przestrzennych lub krzywej przestrzennej z punktem powierzchni (rys. 79 i 80). Zakłada się przy tym, że krzywa przestrzenna jest dwuwymiarowa, tzn. utworzona jest przez przecięcie powierzchni płaszczyzną i ma dwa wyróżnione punkty końcowe, np. P1A i P1B. Odcinek łączący punkty końcowe krzywej przestrzennej jest tzw. linią bazową, której długość traktowana jest jako jednostka lub 100 procent (np. odcinek P1A-P1B).

Dwa punkty leżące na różnych krzywych przestrzennych odpowiadają sobie, jeśli skojarzone z nimi punkty na liniach bazowych mają tę samą "procentowość". Konstrukcyjnie realizuje się to przez przyporządkowanie punktom leżącym na linii bazowej odpowiadającego im procentu (w zależności od odległości punktu od punktu początkowego linii bazowej), a następnie przez poprowadzenie prostych prostopadłych do linii bazowych, leżących w płaszczyźnie krzywej przestrzennej. Punkt leżący na przecięciu prostej prostopadłej do linii bazowej i krzywej przestrzennej ma taką samą "procentowość", jak odpowiadający mu punkt leżący na linii bazowej. Zgodnie z powyższymi wyjaśnieniami punkty $P2_{25}$ i $P1_{25}$ na rys. 76 odpowiadają sobie. Podobnie punkty $P1_{50}$ i $P2_{50}$ oraz $P1_{75}$ i $P2_{75}$.



Rys.76. Ilustracja konstrukcji walca tabelarycznego L1, L2 - L1,L2 - linie bazowe

POW1, POW2 - podpowierzchnie (na rysunku zaznaczono zostały jedynie krzywe będące przecięciem podpowierzchni z płaszczyzną)

Gdy zamiast jednej z krzywych przestrzennych występuje punkt, wszystkie prostoliniowe odcinki mające swój początek na krzywej przestrzennej przechodzą przez podany punkt.

Proste łączące odpowiadające sobie punkty dwóch krzywych tworzą powierzchnię prostokreślną.

Powierzchnia, która po przecięciu płaszczyzną daje krzywą przestrzenną potrzebną do zbudowania powierzchni prostokreślnej, będzie dalej nazywana podpowierzchnią, np. rys. 77 podpowierzchniami są POW1 i POW2.

Przy definiowaniu powierzchni prostokreślnych jako podpowierzchnie można wykorzystać następujące elementy geometryczne: prosta, płaszczyzna, okrąg, walec, elipsa, hiperbola, stożek, krzywa czwartego stopnia, krzywa stożkowa, kula, powierzchnia drugiego stopnia i walec tabelaryczny.

Każda definicja dotycząca powierzchni prostokreślnej zawiera słowo kluczowe RLDSRF, które stanowi wyróżnik tej grupy instrukcji definiujących.

Powierzchnia prostokreślna definiowana za pomocą sześciu punktów i dwóch powierzchni

W tym wypadku powierzchnia prostokreślna jest opisana przez określenie:

podpowierzchni i trzech punktów (niewspółliniowych) tworzących płaszczyznę przecinającą daną powierzchnię; dwa z zadanych punktów są punktami końcowymi krzywej przestrzennej, analogicznych elementów dla drugiej krzywej przestrzennej.

Instrukcja definiująca powierzchnię prostokreślną ma postać:

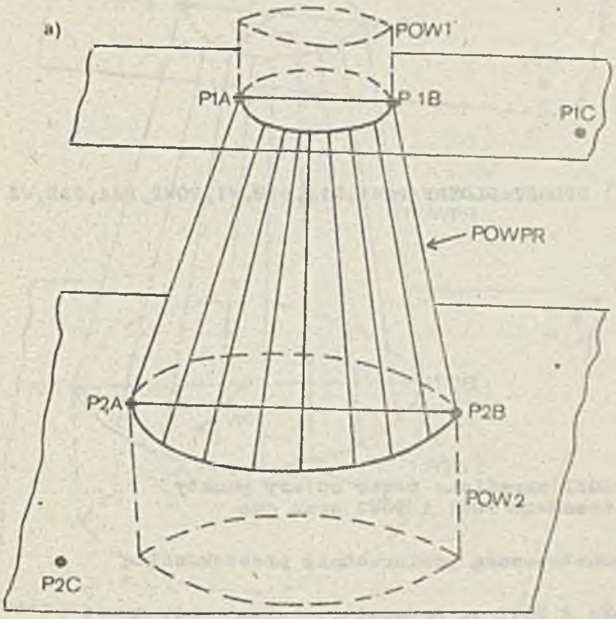
NAZWA=RLDSRF/POW1,PT1,PT2,PT3,POW2,PT4,PT5,PT6

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej powierzchni prostokreślnej,

POW1,POW2 - nazwy wcześniej zdefiniowanych podpowierzchni (dopuszczalnych w definiowaniu powierzchni prostokreślnej) lub zagnieżdżone definicje tych podpowierzchni,

PT1,..,PT6 - nazwy wcześniej zdefiniowanych punktów lub zagnieżdżone definicje punktów.
Przykładem takiego definiowania powierzchni prostokreślnej jest rys. 77.

a)



b) POWPR=RLDSRF/POW1,P1A,P1B,P1C,POW2,P2A,P2B,$
P2C

Rys. 77. a) powierzchnia prostokreślna POWPR definiowana przez sześć punktów P1A, P1B, P1C, P2A, P2B, P2C i dwie powierzchnie POW1 i POW2
b) Instrukcja APT definiująca skonstruowaną powierzchnię prostokreślną

Na rysunku tym POW1 i POW2 są podpowierzchniami. Każda z tych podpowierzchni jest przecięta płaszczyzną określoną przez podanie trzech punktów. Jako efekt tego przecięcia otrzymano dwie krzywe przestrzenne potrzebne do zdefiniowania powierzchni prostokreślnej.

W przykładzie zilustrowanym na rys. 77 konieczne jest wprowadzenie pewnych ograniczeń:

punkty P1A, P1B, P1C (oraz punkty P2A, P2B, P2C) nie mogą być współliniowe,
punkty P1A, P1B oraz P2A i P2B muszą być punktami końcowymi odpowiednio pierwszej i drugiej krzywej przestrzennej.

Powierzchnia prostokreślna definiowana przez dwie powierzchnie, cztery punkty i dwa wektory

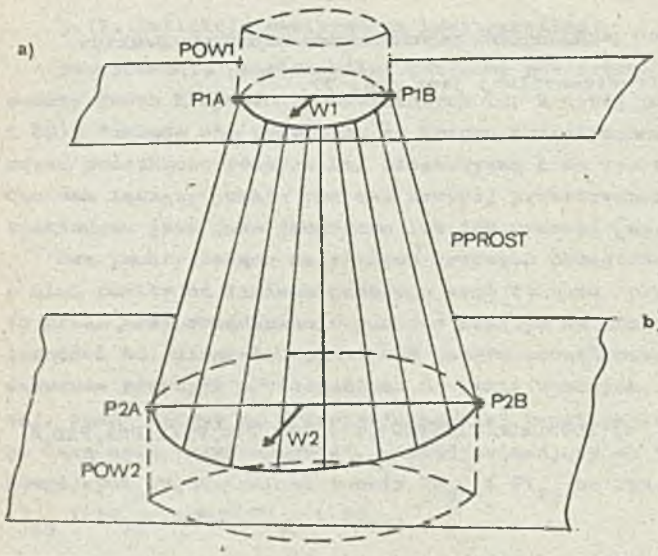
Powierzchnię prostokreślną można też zdefiniować przez określenie podpowierzchni, dwóch punktów końcowych krzywej płaskiej, wektora oraz analogicznych elementów dla drugiej krzywej. W każdym z tych wypadków dwa punkty i wektor definiują płaszczyznę przecinającą daną powierzchnię. Tak określona definicja ma następującą postać:

NAZWA=RLDSRF/POW1,PT1,PT2,WE1,POW2,PT3,PT4,WE2

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej powierzchni prostokreślnej,
PT1,PT4 - nazwy wcześniej zdefiniowanych punktów lub zagnieżdżone definicje punktów,
POW1,POW2 - nazwy wcześniej zdefiniowanych podpowierzchni lub zagnieżdżone definicje podpowierzchni,
WE1,WE2 - nazwy wcześniej zdefiniowanych wektorów lub zagnieżdżone definicje wektorów.

Przykładem takiego definiowania powierzchni prostokreślnej jest rys. 78.

a)



b) PPROST=RLDSRF/POW1,P1A,P1B,W1,POW2,P2A,P2B,W2

Rys.78. a) Powierzchnia prostokreślna PPROST określona przez cztery punkty P1A, P1B, P2A, P2B, dwie powierzchnie POW1 i POW2 oraz dwa wektory W1 i W2

b) Instrukcja APT definiująca skonstruowaną powierzchnię prostokreślną

W tym przypadku, podobnie jak w poprzednim, POW1 i POW2 są podpowierzchniami, natomiast w inny sposób zostały zdefiniowane płaszczyzny przecinające podpowierzchnie, a mianowicie poprzez podanie dwóch punktów i wektora.

Powierzchnia prostokreślna definiowana przez dwie powierzchnie, pięć punktów i wektor

W tym przypadku zdefiniowanie powierzchni następuje przez określenie trzech niewspółliniowych punktów wyznaczających płaszczyznę przecięcia z jedną z danych podpowierzchni oraz dwóch punktów i wektora wyznaczających płaszczyznę przecięcia z drugą daną podpowierzchnią.

Instrukcja definiująca powierzchnię prostokreślną tego typu ma następującą postać:

NAZWA=RLDSRF/POW1,PT1,PT2,WE,POW2,PT3,PT4,PT5

lub

NAZWA=RLDSRF/POW1,PT1,PT2,PT3,POW2,PT4,PT5,WE

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej powierzchni prostokreślnej,

POW1,POW2 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych podpowierzchni lub zagnieżdżone definicje podpowierzchni,

PT1 - PT5 - nazwy symboliczne wcześniej zdefiniowanych punktów lub zagnieżdżone definicje punktów,

WE - nazwa wcześniej zdefiniowanego wektora lub zagnieżdżona definicja wektora.

Przykład takiego definiowania powierzchni prostokreślnej znajduje się na rys. 79.

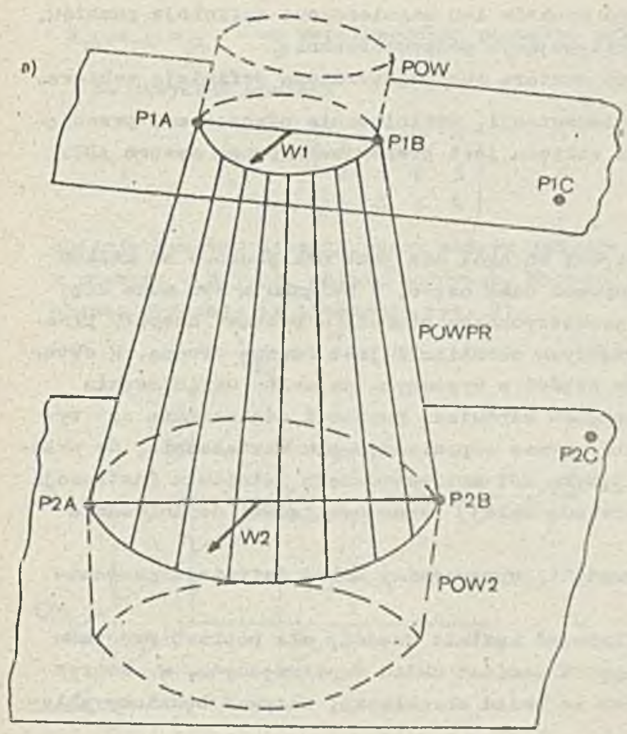
Powierzchnia prostokreślna definiowana przez punkt i krzywą

Powierzchnię prostokreślną może określić definiując krzywą przestrzenną i punkt, zamiast drugiej krzywej przestrzennej (rys.80) . Instrukcja definiująca powierzchnię prostokreślną ma w tym wypadku następującą postać:

NAZWA=RLDSRF/POW,PT1,PT2, $\left\{\begin{matrix} PT3 \\ WE \end{matrix}\right\}$,PT4

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej powierzchni prostokreślnej,

POW - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej podpowierzchni lub zagnieżdżoną definicją podpowierzchni,



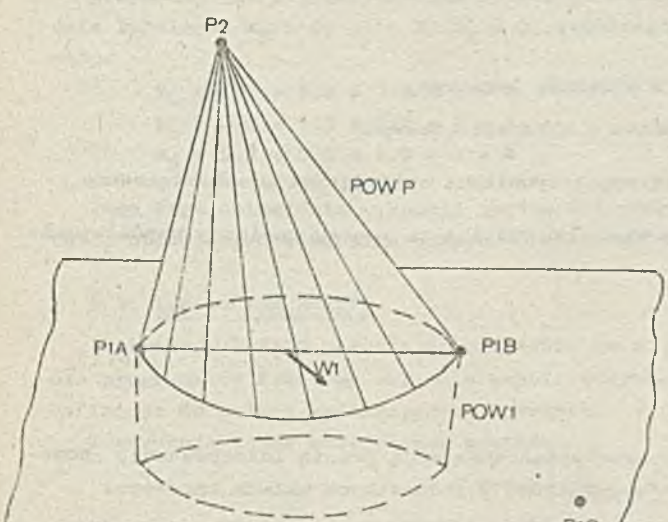
b) POWPR=RLDSRF/POW1,P1A,P1B,W1,POW2,P2A,P2B,P2C

lub

POWPR=RLDSRF/POW1,P1A,P1B,P1C,POW2,P2A,P2B,W2

Rys.79. a) Powierzchnia prostokreślna POWPR definiowana przez dwie powierzchnie POW1 i POW2, pięć punktów (P1A,P1B,P2A,P2B,P2C lub P1A,P1B,P1C i P2A,P2B) oraz wektor (W1 lub W2)

b) Instrukcje APT definiujące powierzchnię prostokreślną w dwóch możliwych postaciach



b) POWP=RLDSRF/POW1,P1A,P1B,P1C,P2

lub

POWP=RLDSRF/POW1,P1A,P1B,W1,P2

Rys.80. a) Powierzchnia prostokreślna POWP określona za pomocą danej powierzchni POW1, płaszczyzny przecięcia (zdefiniowanej przez trzy punkty P1A, P1B,P1C lub dwa punkty P1A,P1B i wektor W1)

b) Instrukcje APT definiujące tak określoną powierzchnię prostokreślną

PT1 - PT4 - nazwy wcześniej zdefiniowanych punktów lub zagnieżdżone definicje punktów, przy czym PT4 jest punktem zastępującym podpowierzchnię,

WE - nazwa wcześniej zdefiniowanego wektora lub zagnieżdżona definicja wektora.

Należy zauważyć, że ze względu na sposób implementacji, definiowanie płaszczyzny przecięcia podpowierzchni przez podanie dwóch punktów i wektora jest preferowane przez system APT.

6. DEFINICJA UKŁADU WSPÓŁRZĘDNYCH

Sposób zwymiarowania rysunku technicznego części na ogół nie jest uzależniony od układu współrzędnych obrabiarki, na której ma być wykonywana dana część. W związku z tym może się okazać, że zdefiniowanie w języku APT kształtu geometrycznego części (w postaci zespołu prostych, okręgów, punktów, itp) w układzie współrzędnych obrabiarki jest rzeczą trudną. W sytuacji takiej celowo byłoby zdefiniowanie kształtu części w wygodnym, do celów definiowania układzie współrzędnych, np. w takim, którego początek odpowiada punktowi odniesienia na rysunku. Następnym krokiem byłoby wówczas przejście, przez odpowiednie przekształcenie, do układu współrzędnych obrabiarki. Postępowanie to w języku APT możliwe dzięki istnieniu instrukcji REFSYS, TRACUT i COPY (będą one szczegółowo omówione dalej) oraz możliwości definiowania różnego typu przekształceń.

W celu dokładniejszego omówienia tej problematyki, wprowadzimy kilka definicji pomocniczych.

Układ współrzędnych, w których będziemy definiować kształt części, dla potrzeb programu obróbki części, nazywać będziemy <u>układem lokalnym</u>. Natomiast układ współrzędnych, w którym będzie przeprowadzana obróbka części, zwykle jest to układ obrabiarki, nazywać będziemy <u>układem bazowym</u>.

Przekształcenie układu lokalnego do układu bazowego może być opisane poniższym układem równań liniowych:

$$
\begin{aligned}
a_{11}x_l + a_{12}y_l + a_{13}z_l + a_{14} &= x_b\\
a_{21}x_l + a_{22}y_l + a_{23}z_l + a_{24} &= y_b\\
a_{31}x_l + a_{32}y_l + a_{33}z_l + a_{34} &= z_b
\end{aligned}
\qquad (6.1)
$$

gdzie: x_l, y_l, z_l - są współrzędnymi punktu w układzie lokalnym,

zaś x_b, y_b, z_b - są współrzędnymi tego punktu w układzie bazowym,

$a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, \ldots, a_{31}, a_{32}, a_{34}$ - są współczynnikami opisującymi przekształcenie.

Przekształcenie układu współrzędnych może więc być opisane za pomocą macierzy współczynników:

$$
\begin{bmatrix}
a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14}\\
a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24}\\
a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34}
\end{bmatrix}
\qquad (6.1)
$$

Warto zauważyć, że współczynniki macierzy przekształcenia mają prostą interpretację geometryczną, a mianowicie opisują one cechy układu lokalnego w jednostkach układu bazowego.

Tak więc

(a_{11}, a_{21}, a_{31}) - jest wersorem (czyli jednostkowym wektorem dodatnim) osi OX układu lokalnego, wyrażonych w jednostkach układu bazowego,

(a_{12}, a_{22}, a_{32}) - jest odpowiednio wersorem osi OY układu lokalnego,

(a_{13}, a_{23}, a_{33}) - jest podobnie wersorem osi OZ,

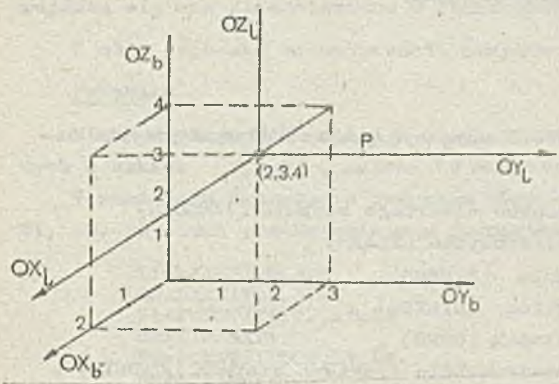
natomiast

a_{14}, a_{24}, a_{34} – są współrzędnymi początku układu lokalnego w układzie bazowym.

Na przykład macierz

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & 4 \end{bmatrix} \qquad (6.2.)$$

opisuje przekształcenie, przy którym jedynie początek układu lokalnego został zmieszczony w punkcie (2,3,4) układu bazowego. Wersory osi układu współrzędnych pozostają niezmienione. Sytuację tę ilustruje rys. 81.



OX_b, OY_b, OZ_b – układ bazowy

OX_l, OY_l, OZ_l – układ lokalny

Rys.81. Ilustracja wzajemnego usytuowania układu lokalnego i bazowego, opisanych macierzą (6.2)

Znając współczynniki macierzy przekształcenia, można łatwo obliczyć współrzędne, jakie będzie miał punkt P o znanych współrzędnych w układzie lokalnym, w układzie bazowym.

Należy po prostu podstawić współrzędne punktu w układzie lokalnym do układu równań (6.1), na przykład, dla przekształcenia opisanego macierzą (6.2), dla punktu o współrzędnych w układzie lokalnym: $x_l = 0$, $y_l = 2$, $z_l = 0$, współrzędne tego punktu w układzie bazowym będą wynosiły:

$$x_b = 1.0 + 0.2 + 0.0 + 2 = 2$$
$$y_b = 0.0 + 1.2 + 0.0 + 3 = 5$$
$$z_b = 0.0 + 0.2 + 1.0 + 4 = 4$$

Tego typu obliczenia wykonuje system APT podczas wykonywania instrukcji REFSYS, TRACUT, COPY, opisujących wykonanie pewnych przekształceń.

6.1. Instrukcja REFSYS

Instrukcja REFSYS pozwala programiście na zdefiniowanie kształtu części w wygodniejszym dla programisty lokalnym układzie współrzędnych, powodując, że system APT przekształca te definicje do układu współrzędnych bazowych.

Instrukcja ta ma następującą postać:

$$\text{REFSYS}/\left\{\begin{matrix}\underline{\text{MA}}\\ \text{NOMORE}\end{matrix}\right\}$$

gdzie: MA – jest nazwą wcześniej zdefiniowanej macierzy lub definicją zagnieżdżoną macierzy, NOMORE – oznacza, że występujące w dalszej części programu definicje nie będą przekształcane.

Instrukcja REFSYS/MA powoduje, że wszystkie występujące po niej definicje geometryczne zostaną przekształcone, aż do wystąpienia instrukcji REFSYS/NOMORE z układu lokalnego zdefiniowanego macierzą MA do układu bazowego. Rodzaj wykonanego przekształcenia opisuje podana macierz. Sposób definiowania macierzy przekształceń zostanie omówiony w punkcie 6.2.

Wystąpienie nowej instrukcji REFSYS MA w obszarze działania poprzedniej instrukcji REFSYS, powoduje "przesłonięcie" poprzedniej instrukcji REFSYS.

Przykład

We fragmencie programu

```
      :
REFSYS/MAT1
      :      definicje geometryczne będą przekształcane w sposób
             opisany przez macierz MAT1
REFSYS/MAT2
      :      definicje geometryczne będą przekształcane w sposób
             opisany przez macierz MAT2
REFSYS/NOMORE
      :
```

Należy jednak zauważyć, że za pomocą instrukcji REFSYS mogą być przekształcane jedynie następujące typy definicji geometrycznych:

punkt (POINT) ,
rozkład punktów (PATERN) ,
wektor (VECTOR) ,
prosta (LINE) ,
okrąg (CIRCLE) ,
elipsa (ELLYPS) ,
krzywe drugiego stopnia (GCONIC) ,
krzywo czwartego stopnia (LCONIC),
płaszczyzna (PLANE) ,
kula (SPHERE),
walec (CYLNDR) ,
stożek (CONE) ,
powierzchnia drugiego stopnia (QADRIC) .

Pozostałe definicje nie są przekształcane przez REFSYS. Jeżeli w obszarze działania instrukcji REFSYS/MA wystąpiła inna niż któraś z wymienionych definicji, to nie zostanie ona przekształcona do układu współrzędnych opisanych macierzą MA. Będzie ona zdefiniowana w układzie bazowym. Efekt więc będzie taki sam, jakby definicja ta wystąpiła poza obszarem działania instrukcji REFSYS. Jeżeli programista chciałby umieścić definicję macierzy w instrukcji REFSYS, to w definicji tej musi wystąpić nazwa macierzy, jeżeli nawet do tej nazwy nie będzie się odwoływać żadna inna instrukcja w innych częściach programu.

Dodatkowego wyjaśnienia wymaga, w jaki sposób jest wykonywane przekształcanie definicji geometrycznych. Otóż w postaciach kanonicznych definicji (zob. pkt 8) zostaje zapamiętana nazwa macierzy użyta w instrukcji REFSYS. Przekształcenie jest wykonywane tylko wtedy, gdy do danego elementu geometrycznego odwołuje się jakaś inna instrukcja (np. instrukcja definicji geometrycznej, bądź też instrukcja ruchu) i wynik tego przekształcenia nie jest na trwałe zapamiętywany. W związku z tym ważne jest, aby programista, przez nieuwagę, nie zmienił definicji macierzy.

Przykład

Poniższy fragment programu obróbki części ilustruje mechanizm działania instrukcji REFSYS:

```
      :
REFSYS/MAT1
      :
P1=POINT/Ø,-1,5
      :
REFSYS/NOMORE
      :
C1=CIRCLE/CENTER,P1,RADIUS,1Ø
      :
```

W momencie wystąpienia definicji punktu P1 w postaci kanonicznej tego punktu zostanie zapamiętana nazwa macierzy MAT1, natomiast dopiero w momencie wystąpienia definicji okręgu C1 wykonywane jest przekształcenie punktu P1 do układu współrzędnych opisanych macierzą MAT1.

Przy takim mechaniźmie działania instrukcji REFSYS widać, że gdyby w programie między instrukcjami REFSYS/NOMORE, a definicją okręgu C1 programista, wykorzystując instrukcję CANON (por. punkt 8) ponownie zdefiniował macierz MAT1, to okrąg C1 byłby inaczej zdefiniowany.

Należy zwrócić również uwagę, że odwołanie się do elementów geometrycznych w obszarze działania jednej instrukcji REFSYS, określającej pewien lokalny układ współrzędnych $X_{l1}Y_{l1}Z_{l1}$, do elementów geometrycznych zdefiniowanych w obszarze działania innej instrukcji REFSYS lub w układzie bazowym XYZ powoduje, że w miejscu, w którym wystąpiło odwołanie do tych elementów, pojawią się one przedstawione w jednostkach układu lokalnego $X_{l1}, Y_{l1}Z_{l1}$.

W celu lepszego zilustrowania powyższego stwierdzenia rozważmy następujący przykład.

Przykład

Niech macierz MAT1 opisuje przekształcenie polegające na przesunięciu układu współrzędnych o wektor (1,1,Ø), natomiast macierz MAT2 opisuje przesunięcie o wektor (2,2,Ø).

W poniższym fragmencie programu obróbki części, zdefiniowane proste L1 i L2 oraz punkty P1, P2, P3 będą przedstawiane w jednostkach różnych układów współrzędnych.

```
L1=LINE/3,Ø,3,3
L2=LINE/Ø,3,3,3
P1=POINT/INTOF,L1,L2
REFSYS/MAT1
P2=POINT/INTOF,L1,L2
REFSYS/MAT2
P3=POINT/INTOF,L1,L2
REFSYS/NOMORE
```

Prostą L1 zdefiniowano w układzie bazowym X_bY_b jako prostą przechodzącą przez punkty (3,Ø) i (3,3), zaś prostą L2 (również zdefiniowaną w układzie bazowym) jako prostą przechodzącą przez punkty (Ø,3) i (3,3).

Punkt P1 został zdefiniowany w układzie bazowym jako przecięcie prostych L1 oraz L2, będzie więc to punkt o współrzędnych (3,3).

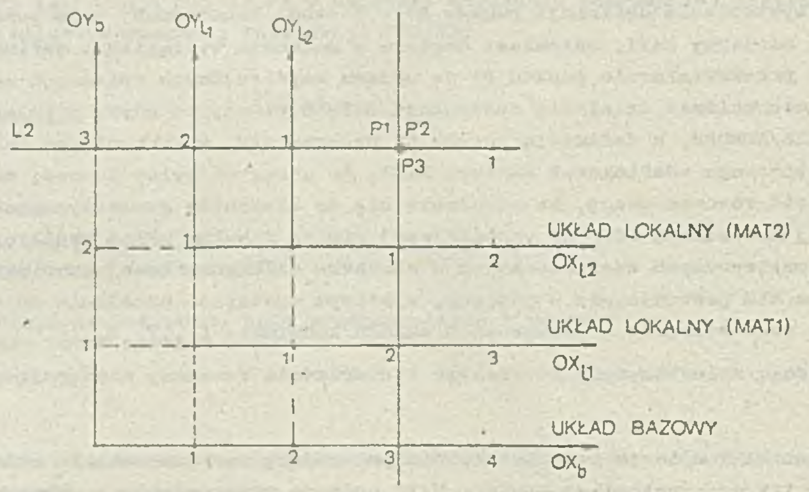
Punkt P2 zdefiniowano w układzie lokalnym $X_{l1}Y_{l1}$. Jak to zostało wcześniej stwierdzone przy odwołaniu się do elementów, które zostały zdefiniowane poza obszarem działania instrukcji REFSYS/MAT1, elementy te pojawiają się w jednostkach układu lokalnego $X_{l1}Y_{l1}$ opisanego tą instrukcją REFSYS. W związku z tym prosta L1 traktowana będzie jako prosta przechodząca przez punkty (2,Ø) i (2,2), zaś prosta L2 - jako prosta przechodząca przez punkty (Ø,2) i (2,2). Punkt P2 będzie miał więc współrzędne (2,2).

Analogiczne rozumowanie można przeprowadzić dla punktu P3, zdefiniowanego w układzie lokalnym $X_{l2}Y_{l2}$. Proste L1 i L2 pojawią się opisane w jednostkach układu lokalnego $X_{l2}Y_{l2}$, a więc będą to proste przechodzące przez punkty (1,Ø) i (1,1) - prosta L1 oraz (Ø,1) i (1,1) - prosta L2. W związku z tym współrzędne punktu P3 będą wynosiły (1,1).

Położenie prostych i punktów z powyższego programu w różnych układach współrzędnych ilustruje rys. 82.

Warto zauważyć, że programista może definiować płaszczyzny, walce, itp. przez zdefiniowanie prostych, okręgów i zastosowanie odpowiedniego przekształcenia układu współrzędnych. Należy jednak zwrócić uwagę, że jeżeli np. okrąg ma być przekształcony przez macierz REFSYS tak, że jego wektor osi (zob. pkt 8 - postać kanoniczna okręgu) nie będzie równoległy do osi OZ, tzn. nie będzie to wektor (Ø,Ø,1), wówczas nie powinno się go stosować w innych definicjach geometrycznych tam, gdzie powinien wystąpić okrąg (por. pkt 5.5 - uwagi dotyczące specyficznego traktowania okręgu przez system APT).

Ta sama uwaga dotyczy prostych, które są tak przekształcone, że ich "płaszczyzny" nie będą prostopadłe do płaszczyzny XY (por. pkt 5.4 - uwagi dotyczące specyficznego traktowania prostych - jak płaszczyzna - przez system APT).



Rys.82. Zmiany układu współrzędnych

Przykład

W poniższym fragmencie programu obróbki części niech macierz MAT1 opisuje obrót układu współrzędnych o 45° wokół osi OX

```
:
REFSYS/MAT1
L1=LINE/XAXIS
C1=CIRCLE/CENTER,Ø,Ø,Ø,RADIUS,1Ø
P1=POINT/XLARGE,INTOF,L1,C1
REFSYS/NOMORE
P2=POINT/XSMALL,INTOF,L1,C1
:
```

Punkt P1, leżący na przecięciu prostej L1 z okręgiem C1, będzie wówczas zdefiniowany poprawnie, ponieważ jak to już było wcześniej wyjaśnione, przekształcenie przez macierz MAT1 jest wykonywane dopiero przy odwołaniu się do definicji L1 lub C1 spoza obszaru działania instrukcji REFSYS.

Natomiast definicja punktu P2 będzie dawać błędny wynik, ponieważ po przekształceniu przez MAT1 prosta L1 nie może już być traktowana jako płaszczyzna prostopadła do płaszczyzna OXY, jak również okrąg C1 nie może być traktowany jako walec prostopadły do płaszczyzny OXY (por. pkt 5.4 i 5.5) . Nie są więc spełnione wymagania dla prostych i okręgów wykorzystywanych do definiowania innych elementów geometrycznych.

Należy jednak zauważyć, że przy przetwarzaniu instrukcji ruchu narzędzia (będą one omówione w dalszej części opracowania) system APT nie przyjmuje takich założeń upraszczających, jak przy definicjach geometrycznych, lecz traktuje okręgi (CIRCLE) jako walce, a proste (LINE) jako płaszczyzny (zob. pkt 5.4 i 5.5).

Na zakończenie tego fragmentu należy stwierdzić, że instrukcja REFSYS jest zwykle używana do przekształcania stosunkowo małej ilości definicji geometrycznych z wygodnego lokalnego układu współrzędnych do układu bazowego pozostałej części detalu. Do przekształcenia dużego fragmentu (lub całości) programu obróbki części, powinno się używać instrukcji TRACUT (omówiona w dalszej części opracowania).

6.2. Definicje macierzy

W języku APT macierz używana jest do opisu sposobu przekształcania układu współrzędnych, co jest konieczne w omówionej już instrukcji REFSYS oraz w instrukcjach TRACUT i COPY, które zostaną omówione w dalszej części opracowania.

W systemie APT macierz można zdefiniować wieloma różnymi sposobami:

- przez podanie jej współczynników,
- jako przesunięcie,
- jako obrót względem jednej z osi układu współrzędnych,
- jak współczynnik skali,
- jako odbicie zwierciadlane w jednej lub kilku płaszczyznach układu współrzędnych,
- jako odbicie zwierciadlane,
- przez podanie nowego środka układu współrzędnych i dwóch wektorów osi,
- przez podanie trzech płaszczyzn,
- jako macierz odwrotną do podanej macierzy,
- jako złożenie wyżej wymienionych przekształceń.

Wymienione metody definiowania macierzy będą szczegółowo omówione w dalszym ciągu niniejszego rozdziału.

- Macierz definiowana przez podanie jej współczynników

Macierz można zdefiniować przez podanie jej współczynników, będących współczynnikami równań transformacji układu współrzędnych (6.1). Definicja macierzy ma w tym wypadku postać:

$$\underline{NAZWA}=MATRIX/a_{11},a_{12},a_{13},a_{14},a_{21},a_{22},a_{23},a_{24},a_{31},a_{32},a_{33},a_{34}$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej macierzy,

$a_{11},a_{12},\ldots,a_{34}$ - są odpowiednimi współczynnikami równań transformacji.

- Macierz definiowana jako przesunięcie

Określając przesunięcie układu współrzędnych, definiuje się macierz przesunięcia jako:

$$\underline{NAZWA}=MATRIX/TRANSL,d_1,d_2\,[,d_3]$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej macierzy,

TRANSL - oznacza, że macierz będzie opisywać przesunięcie układu współrzędnych,

d_1,d_2,d_3 - są wielkościami przesunięć odpowiednio wzdłuż osi OX, OY i OZ.

Jeśli wartość przesunięcia d_3 będzie pominięta, system APT przyjmuje $d_3=0$. W efekcie zostaje wygenerowana macierz o następującej postaci:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_1 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \end{bmatrix}$$

Przykład definiowania macierzy jako przesunięcia przedstawia rys. 83.

- Macierz definiowana jako obrót względem osi

Definicja macierzy obróconej względem jednej z osi układu współrzędnych ma postać:

$$\underline{NAZWA}=MATRIX/\begin{Bmatrix} XYROT \\ YZROT \\ ZXROT \end{Bmatrix},\alpha$$

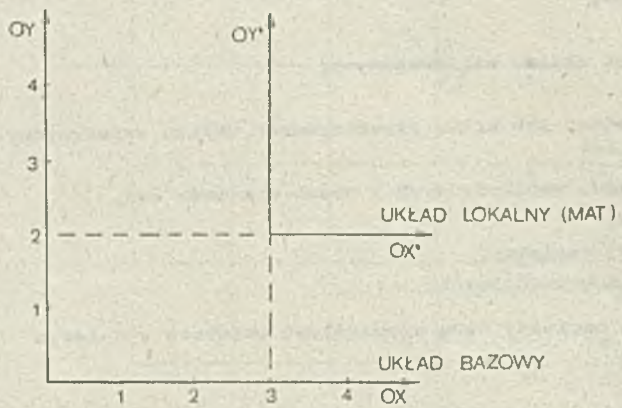
gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej macierzy,

modyfikatory: XYROT, YZROT, ZXROT - oznaczają odpowiednio obrót względem osi OZ, OX, OY,

α - jest kątem obrotu (w stopniach).

Za dodatni uważany jest obrót wykonywany przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, jeżeli patrzymy z dodatniej półosi układu współrzędnych (względem której wykonywany jest obrót)

a)



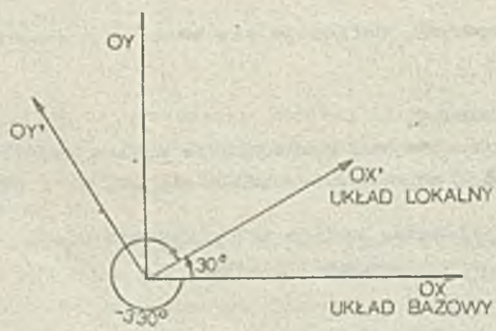
b) MAT=MATRIX/TRANSL,3,2

Rys.83. Przykład definiowania macierzy jako przesunięcia
a) ilustracja przesunięcia układu współrzędnych
b) definicja macierzy przesunięcia

w kierunku punktu początkowego układu.

Przykład definiowania macierzy obrotu przedstawia rys. 84.

a)



b) MAT=MATRIX/XYROT,30°
lub
MAT=MATRIX/XYROT,-330°

Rys.84. Przykład definiowania macierzy jako obrotu
a) ilustracja obrotu współrzędnych
b) definicja macierzy obrotu

Przy definiowaniu obrotu względem osi OZ o kąt α_1 instrukcją

MAT1=MATRIX/XYROT, α_1

wygenerowana macierz obrotu będzie miała postać:

$$\begin{bmatrix} \cos\alpha_1 & -\sin\alpha_1 & 0 & 0 \\ \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Natomiast przy definiowaniu obrotu względem osi OX o kąt α_2 instrukcją:

MAT2=MATRIX/XZROT, α_2

wygenerowana macierz obrotu będzie miała postać:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_2 & -\sin\alpha_2 & 0 \\ 0 & \sin\alpha_2 & \cos\alpha_2 & 0 \end{bmatrix}$$

A przy definiowaniu obrotu względem osi OY o kąt α_3 instrukcją

MAT3=MATRIX/ZXROT, α_3

otrzyma się wygenerowaną macierz obrotu o postaci:

$$\begin{bmatrix} \cos\alpha_3 & 0 & \sin\alpha_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\alpha_3 & 0 & \cos\alpha_3 & 0 \end{bmatrix}$$

- Macierz definiowana jako współczynnik skali

W pewnych okolicznościach wymagane lub wygodne jest przekształcenie układu współrzędnych, polegające na jego przeskalowaniu. W tym wypadku definicja macierzy ma postać:

NAZWA=MATRIX/SCALE,s

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej macierzy,
SCALE - oznacza, że macierz będzie opisywać przeskalowanie układu współrzędnych,
s - jest współczynnikiem skali.

Przekształcenie opisane taką macierzą będzie polegało na przemnożeniu współrzędnych wszystkich przekształcanych punktów przez współczynnik skali s.

Wygenerowana macierz, opisująca przeskalowanie układu współrzędnych będzie więc miała postać:

$$\begin{bmatrix} s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s & 0 \end{bmatrix}$$

Należy zwrócić uwagę, że macierze, w których występują współczynniki skali, zastosowane w instrukcji REFSYS, mogą dawać błędne wyniki, nie wykrywane przez system APT, tzn. bez komunikatu o błędzie. Spowodowane jest to faktem, że w wyniku działania instrukcji REFSYS z macierzą skali, będą przeskalowane wektory jednostkowe występujące w postaciach kanonicznych: prostej, płaszczyzny, okręgu, walca, stożka. Spowoduje to zmianę wartości promieni postaci kanonicznych okręgu, walca, kuli. W efekcie może to doprowadzić do błędnej interpretacji tych wielkości przez system APT po dalszym przetwarzaniu tych wielkości.

- Macierz definiowana jako odbicie zwierciadlane w jednej lub kilku płaszczyznach układu współrzędnych

Macierz może opisywać przekształcenie układu współrzędnych polegające na odbiciu zwierciadlanym wszystkich punktów względem jednej, dwóch lub trzech płaszczyzn układu współrzędnych.

Ogólna postać tej definicji jest następująca:

$$\text{NAZWA=MATRIX/MIRROR,} \begin{Bmatrix} \text{XYPLAN} \\ \text{XZPLAN} \\ \text{ZXPLAN} \end{Bmatrix} \left[, \begin{Bmatrix} \text{XYPLAN} \\ \text{YZPLAN} \\ \text{ZXPLAN} \end{Bmatrix} \left[, \begin{Bmatrix} \text{XYPLAN} \\ \text{YZPLAN} \\ \text{ZXPLAN} \end{Bmatrix} \right] \right]$$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej macierzy,
modyfikator MIRROR - oznacza, że macierz będzie opisywać odbicie zwierciadlane,
modyfikatory XYPLAN, YZPLAN, ZXPLAN oznaczają odpowiednio odbicie zwierciadlane względem płaszczyzny OXY, OYZ, OXZ układu współrzędnych.

Macierz może opisywać odbicie jednocześnie względem jednej, dwóch lub trzech płaszczyzn. Generowana powyższą instrukcją macierz ma postać:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & 0 \end{bmatrix}$$

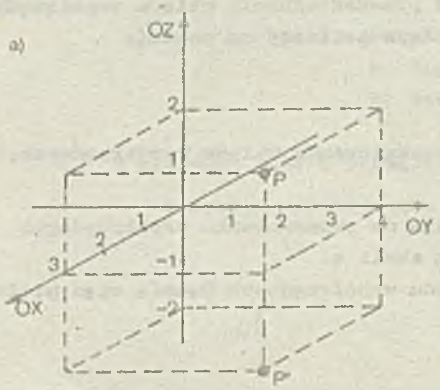
gdzie: $a_{11} = \begin{cases} -1 \text{, jeżeli jest wyspecyfikowane YZPLAN,} \\ 1 \text{, w przeciwnym wypadku} \end{cases}$

$a_{22} = \begin{cases} -1\text{, jeżeli jest wyspecyfikowane ZXPLAN,} \\ 1\text{, w przeciwnym wypadku} \end{cases}$

$a_{33} = \begin{cases} -1\text{, jeżeli jest wyspecyfikowane XYPLAN,} \\ 1\text{, w przeciwnym wypadku} \end{cases}$

Przykład definiowania macierzy jako odbicia zwierciadlanego względem płaszczyzn układu współrzędnych przedstawia rys. 85.

a)



b) MAT=MATRIX/MIRROR,XYPLAN

Rys.85. Przykład definiowania macierzy jako odbicia zwierciadlanego względem płaszczyzn układu współrzędnych
a) ilustracja odbicia zwierciadlanego (P'- efekt przekształcenia punktu P)
b) definicja macierzy odbicia zwierciadlanego

Przedstawiono na nim zwierciadlane odbicie punktu P o współrzędnych (3,4,1) względem płaszczyzny OXY, co w efekcie daje punkt P' o współrzędnych (3,4 - 1) .

- Macierz definiowana jako zwierciadlane odbicie względem prostej lub płaszczyzny

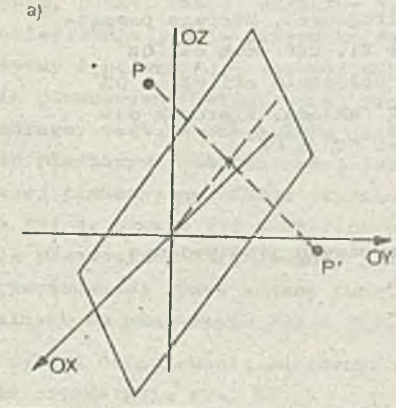
Definiowanie macierzy przekształcenia jako odbicia zwierciadlanego wszystkich punktów względem podanej dowolnej prostej lub płaszczyzny ma postać:

NAZWA=MATRIX/MIRROR, $\left\{ \begin{matrix} \underline{PR} \\ \underline{PL} \end{matrix} \right\}$

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej macierzy,
MIRROR - oznacza, że macierz będzie opisywać odbicie zwierciadlane,
PR - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej prostej lub definicją zagnieżdżoną prostej, względem której będzie wykonywane odbicie zwierciadlane,
PL - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej płaszczyzny lub definicją zagnieżdżoną płaszczyzny, względem której będzie wykonywane odbicie zwierciadlane.

Przykład definiowania macierzy jako odbicia zwierciadlanego względem płaszczyzny przedstawia rys. 86.

a)



b) PL=PLANE/∅,1,-1,∅
MAT=MATRIX/MIRROR,PL

Rys.86. Przykład definiowania macierzy jako osbicia zwierciadlanego względem płaszczyzny
a) ilustracja odbicia zwierciadlanego (P'- efekt przekształcenia punktu P) .
b) definicja macierzy odbicia zwierciadlanego

- Macierz definiowana przez podanie punktu początkowego i dwóch wektorów

Macierz przekształcenia układu współrzędnych można zdefiniować podając punkt początkowy nowego układu współrzędnych oraz dwa wektory, które pozwolą na określenie położenia osi nowego układu współrzędnych.

Definicja ma postać:

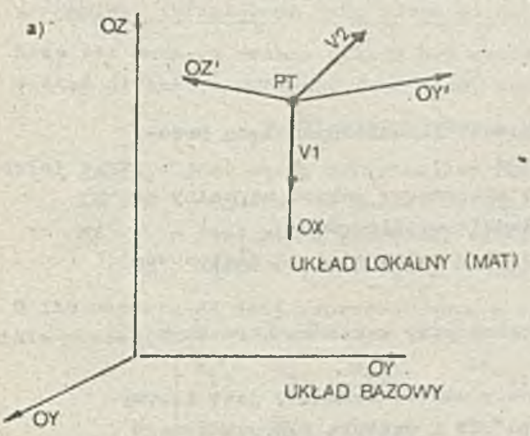
NAZWA=MATRIX/PT,WE1,WE2

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej macierzy,
PT - jest nazwą wcześniej zdefiniowanego punktu lub definicją zagnieżdżoną punktu; punkt ten będzie początkiem nowego układu współrzędnych,
WE1,WE2 - są nazwami wcześniej zdefiniowanych wektorów lub definicjami zagnieżdżonymi wektorów.

Wektor WE1 określa dodatnią półoś OX nowego układu współrzędnych, natomiast wektor WE2 traktuje się jako leżący na płaszczyźnie OXY nowego układu współrzędnych w I lub II ćwiartce układu wsóółrzędnych na tej płaszczyźnie. Na podstawie tych dwóch wektorów określane jest położenie pozostałych osi definiowanego układu współrzędnych.

Przykład definiowania macierzy tą metodą przedstawia rys. 87.

a)



b) MAT=MATRIX/PT,V1,V2

Rys.87. Przykład definiowania macierzy przez podanie punktu i dwóch wektorów
a) ilustracja przekształcenia układu współrzędnych
b) definicja macierzy

Na rysunku tym macierz MAT opisuje przekształcenie do układu współrzędnych, którego początkiem jest punkt PT, zaś kierunek dodatniej półosi OX′ wskazuje wektor V1. Kierunek osi OZ′ wyznacza wektor będący iloczynem wektorowym wektorów V1 i V2. Znając położenie osi OX′ i OZ′ zdefiniowanego układu współrzędnych, można wyznaczyć położenie osi OY′ układu. Kierunek dodatni tej osi wskazuje wektor będący iloczynem wektorowym wersorów osi OZ′ i OX′.

• <u>Macierz definiowana przez podanie trzech płaszczyzn</u>

Innym sposobem definiowania macierzy przekształcenia układu współrzędnych jest podanie trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyzn nowego układu współrzędnych.

Definicja ma postać:

<u>NAZWA</u>=MATRIX/<u>PL1</u>,<u>PL2</u>,<u>PL3</u>

gdzie: <u>NAZWA</u> - jest nazwą definiowanej macierzy,

<u>PL1</u>,<u>PL2</u>,<u>PL3</u> - są nazwami wcześniej zdefiniowanych płaszczyzn lub definicjami zagnieżdżonymi płaszczyzn, które będą uważane odpowiednio za płaszczyzny OYZ, OXZ i OXY lokalnego układu współrzędnych.

O ile płaszczyzny mają następującą postać kanoniczną(por. pkt 5.10 i pkt 8) :

płaszczyzna <u>PL1</u>: a_1, b_1, c_1, d_1

płaszczyzna <u>PL2</u>: a_2, b_2, c_2, d_2

płaszczyzna <u>PL3</u>: a_3, b_3, c_3, d_3

to wygenerowana macierz przekształceń będzie miała postać:

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & (a_1 \cdot d_1 + a_2 \cdot d_2 + a_3 \cdot d_3) \\ b_1 & b_2 & b_3 & (b_1 \cdot d_1 + b_2 \cdot d_2 + b_3 \cdot d_3) \\ c_1 & c_2 & c_3 & (c_1 \cdot d_1 + c_2 \cdot d_2 + c_3 \cdot d_3) \end{bmatrix}$$

Pierwsze trzy parametry postaci kanonicznej (a,b,c) płaszczyzny reprezentują wektor jednostkowy prostopadły do płaszczyzny. Z kolei trzy pierwsze kolumny macierzy przekształceń opisują dodatnie półosie OX,OY,OZ lokalnego układu współrzędnych. Stąd, jak łatwo zauważyć, wektorami osi lokalnego układu współrzędnych są jednostkowe wektory normalne do płaszczyzn podanych w definicji macierzy przekształceń, zapamiętane w postaciach kanonicznych tych płaszczyzn.

W zależności od zastosowanej definicji płaszczyzny wektor normalny zapamiętany w postaci kanonicznej może mieć postać (a,b,c) lub (-a,-b,-c) , co wynika z postaci kanonicznej płaszczyzny

a,b,c,d

lub

-a,-b,-c,-d

Jak łatwo zauważyć, wektory normalne obu przedstawionych postaci kanonicznych będą przeciwnie skierowane, chociaż opisywane płaszczyzny będą takie same.

W związku z tym programista musi umieć określić, jak będzie skierowany wektor normalny do płaszczyzny, gdyż decyduje to o skierowaniu osi w lokalnym układzie współrzędnych.

Poniżej zostaną opisane sposoby określania wektorów normalnych w zależności od zastosowanej instrukcji definiującej płaszczyznę (por. pkt 5.10) :

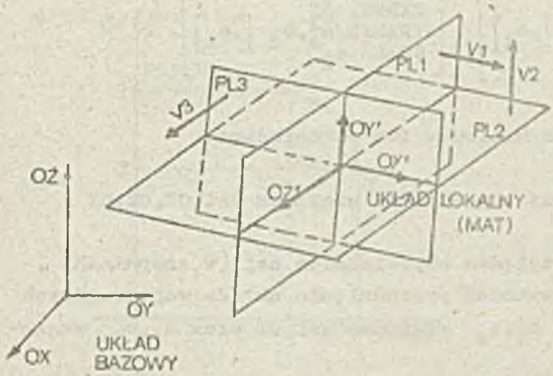
- dla płaszczyzny definiowanej przez współczynniki równania płaszczyzny wektorem normalnym jest (a,b,c) ;
- dla płaszczyzny definiowanej przez trzy należące do niej punkty wektor normalny jest iloczynem wektorowym wektora poprowadzonego od punktu <u>PT1</u> do punktu <u>PT2</u> i wektora poprowadzonego od punktu <u>PT1</u> do punktu <u>PT3</u>;
- dla płaszczyzny zdefiniowanej jako równoległej do podanej płaszczyzny i przechodzącej przez

zadany punkt, wektor normalny jest taki sam, jak dla podanej w definicji płaszczyzny PL; analogicznie jest w przypadku definiowania płaszczyzny jako równoległej do podanej płaszczyzny i położonej w zadanej od niej odległości;

- dla płaszczyzny definiowanej przez podanie leżącego na niej punktu i wektora do niej prostopadłego, wektorem normalnym jest podany w definicji wektor WE;
- dla płaszczyzny definiowanej jako przechodzącej przez dwa zadane punkty i prostopadłej do danej płaszczyzny wektor normalny jest iloczynem wektorowym wektora poprowadzonego od punktu PT1 do punktu PT2 i wektora normalnego do podanej płaszczyzny PL;
- dla płaszczyzny definiowanej jako prostopadłej do dwóch przecinających się płaszczyzn i przechodzącej przez zadany punkt, wektor normalny jest iloczynem wektorowym wektorów normalnych do płaszczyzn PL1 i PL2.

Przykład definiowania macierzy przekształceń przez podanie trzech przecinających się płaszczyzn przedstawia rys. 88.

a)



b) MAT=MATRIX/PL1,PL2,PL3

Rys.88. Przykład definiowania macierzy przez podanie trzech płaszczyzn
a) ilustracja przekształcenia układu współrzędnych
($V1,V2,V3$ - wektory normalne do płaszczyzn PL1,PL2,PL3)
b) definicja macierzy

Zaznaczono na nim wektory normalne do podanych płaszczyzn oraz zdefiniowany przez te wektory układ współrzędnych lokalnych.

- Macierz definiowana jako odwrotna do danej macierzy

Może też macierz zmiany układu być macierzą odwrotną do jakiejś danej uprzednio macierzy. Postać definicji macierzy jest wtedy następująca:

NAZWA=MATRIX/INVERS,MA

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanej macierzy,
INVERS - oznacza, że macierz będzie definiowana jako odwrotność podanej macierzy,
MA - jest nazwą wcześniej zdefiniowanej macierzy lub definicją zagnieżdżoną macierzy, do której chcemy zdefiniować macierz odwrotną.

O ile macierz MA jest reprezentowana w postaci (6.1'), wówczas macierz odwrotna będzie miała postać:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} & -(a_{11}a_{14}+a_{21}a_{24}+a_{31}a_{34}) \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} & -(a_{12}a_{14}+a_{22}a_{24}+a_{32}a_{34}) \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} & -(a_{13}a_{14}+a_{23}a_{24}+a_{33}a_{34}) \end{bmatrix}$$

Na przykład, jeśli macierz MAT opisuje przesunięcie o x=1, y=-2, a następnie obrót względem płaszczyzny XY o 45°, to macierz odwrotna do MAT będzie opisywać obrót względem płaszczyzny XY o -45°, a następnie przesunięcie o x=-1, y=2, z=-3.

Macierz odwrotna powinna być obliczana jedynie dla macierzy, które opisują obrót, przesunięcie, odbicie zwierciadlane lub złożenie tych przekształceń. Pozostałe macierze - zawierające współczynniki skali - mogą wprowadzać błędne wyniki, które nie będą umieszczane w informacjach diagnostycznych.

- <u>Macierz definiowana jako złożenie przekształceń</u>

Pojedyncza macierz może opisywać ciąg przekształceń składających się z obrotów, przesunięć, odbić zwierciadlanych i skalowania.

Definicja takiej macierzy ma ogólną postać:

$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=MATRIX/}\left\{\begin{matrix}\text{MA1}\\ \text{XYROT},\alpha_1\\ \text{YZROT},\alpha_2\\ \text{ZXROT},\alpha_3\\ \text{TRANSL},a_1,b_1\,[,c_1]\\ \text{SCALE},s_1\end{matrix}\right\},\left\{\begin{matrix}\text{MA2}\\ \text{XYROT},\beta_1\\ \text{YZROT},\beta_2\\ \text{ZXROT},\beta_3\\ \text{TRANSL},a_2,b_2\,[,c_2]\\ \text{SCALE},s_2\end{matrix}\right\}$$

gdzie: <u>NAZWA</u> - jest nazwą definiowanej macierzy,

<u>MA1</u>,<u>MA2</u> - są nazwami wcześniej zdefiniowanych macierzy lub definicjami zagnieżdżonymi macierzy,

modyfikatory XYROT,YZROT,ZXROT oznaczają obrót odpowiednio względem osi OZ,OX,OY o podany kąt,

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - są kątami obrotu względem odpowiednich osi (w stopniach) ,

TRANSL - modyfikator informujący, że należy wykonać przesunięcie układu współrzędnych o wielkości a_1,a_2 względem osi OX, b_1,b_2 względem osi OY oraz c_1,c_2 względem osi OZ,

SCALE - modyfikator informujący, że będzie wykonane przeskalowanie ze współczynnikami s_1,s_2 układu współrzędnych.

Opisane przekształcenia są wykonywane od strony <u>prawej do lewej</u>. Na przykład macierz:

M2=MATRIX/M1,TRANSL,1,1

powoduje najpierw umieszczenie początku nowego układu w punkcie (1,1), a następnie przekształcenie opisane przez macierz M1.

Wyjątek od powyższej reguły stanowią założenia określone explicite jako obroty i przesunięcia, w których to instrukcjach obowiązuje kolejność wykonywania operacji od strony <u>lewej do prawej</u>. Tak więc w instrukcjach o postaci

$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=MATRIX/}\left\{\begin{matrix}\text{XYROT},\alpha_1\\ \text{YZROT},\alpha_2\\ \text{ZXROT},\alpha_3\end{matrix}\right\},\ \text{TRANSL},a,b\ [,c]$$

oraz

$$\underline{\text{NAZWA}}\text{=MATRIX/TRANSL},a,b\,[,c],\ \left\{\begin{matrix}\text{XYROT},\beta_1\\ \text{YZROT},\beta_2\\ \text{ZXROT},\beta_3\end{matrix}\right\}$$

obowiązuje kolejność wykonywania operacji od lewej do prawej, czyli że w pierwszym wypadku najpierw dokonany zostanie obrót, a w drugim najpierw przesunięcie. Na przykład na rys. 89 macierz MAT1 powoduje najpierw przesunięcie, a następnie obrót.

Przy złożeniu przekształceń opisanych za pomocą dwóch macierzy A i B instrukcją

C=MATRIX/A,B

wynikowa macierz C ma następujące współczynniki:

$$c_{11}=a_{11}b_{11}+a_{12}b_{21}+a_{13}b_{31}$$

$$c_{12}=a_{11}b_{12}+a_{12}b_{22}+a_{13}b_{32}$$

$c_{13}=a_{11}b_{13}+a_{12}b_{23}+a_{13}b_{33}$

$c_{14}=a_{11}b_{14}+a_{12}b_{24}+a_{13}b_{34}+a_{14}$

$c_{21}=a_{21}b_{11}+a_{22}b_{21}+a_{23}b_{31}$

$c_{22}=a_{21}b_{12}+a_{22}b_{22}+a_{23}b_{32}$

$c_{23}=a_{21}b_{13}+a_{22}b_{23}+a_{23}b_{33}$

$c_{24}=a_{21}b_{14}+a_{22}b_{24}+a_{23}b_{34}+a_{24}$

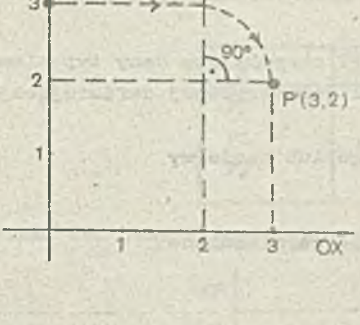
$c_{31}=a_{31}b_{11}+a_{32}b_{21}+a_{33}b_{31}$

$c_{32}=a_{31}b_{12}+a_{32}b_{22}+a_{33}b_{32}$

$c_{33}=a_{31}b_{13}+a_{32}b_{23}+a_{33}b_{33}$

$c_{34}=a_{31}b_{14}+a_{32}b_{24}+a_{33}b_{34}+a_{34}$

a)



b) MAT1=MATRIX/TRANSL,2,Ø,XYROT,-9Ø

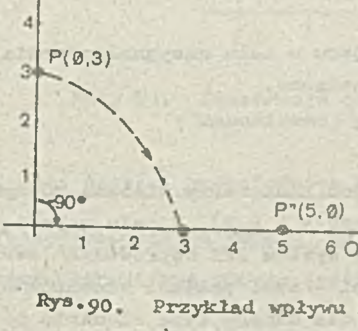
Rys.89. Przykład złożenia przekształceń

a) ilustracja przekształcenia (wynikiem przekształcenia punktu P jest punkt P')

b) definicja macierzy przekształceń

Należy zwrócić uwagę, że kolejność przekształceń w istotny sposób wpływa na wynik przekształcenia, np. wynik przekształcenia przedstawionego na rys. 90 jest inny niż wynik prze-

a)



b) MAT2=MATRIX/XYROT,-9Ø,TRANSL,2,Ø

Rys.90. Przykład wpływu kolejności wykonywania przekształceń na ich wynik

a) ilustracja przekształcenia (wynikiem przekształcenia punktu P jest punkt P")

b) definicja macierzy przekształceń

kształcenia przedstawionego na rys. 89, pomimo iż macierze opisujące przekształcenie różnią się jedynie kolejnością wykonywania poszczególnych przekształceń.

Prosta instrukcja może opisywać złożenie tylko dwóch przekształceń, ale łatwo zauważyć, że można tworzyć dowolnie długie ciągi przekształceń, gdyż macierz wynikowa może być z kolei łączona z inną macierzą, itd.

7. DEFINICJE ZAGNIEŻDŻONE

Definicje zagnieżdżone macierzy lub elementów geometrycznych umożliwiają ich zdefiniowanie bezpośrednio w instrukcjach, które się do nich odwołują. Można więc umieszczać dane elementy geometryczne lub macierze bezpośrednio w wykorzystujących je instrukcjach zamiast nazwy wcześniej zdefiniowanego elementu geometrycznego lub macierzy.

Za pomocą definicji zagnieżdżonych można określić wszystkie elementy geometryczne z wyjątkiem: tabelarycznego walca (TABCYL) , wielostożka (POLCON) , powierzchni prostokreślnej (RLDSRF).

Możliwe są następujące postaci definicji zagnieżdżonych:

- definicja zagnieżdżona podana zamiast nazwy elementu geometrycznego lub macierzy

  ... (TYP ELEMENTU/sposób definiowania) ...

- definicja zagnieżdżona podana razem z nazwą elementu geometrycznego lub macierzy

  ... (<u>NAZWA</u>=TYP ELEMENTU/sposób definiowania) ...

gdzie:

TYP ELEMENTU - oznacza odpowiednie słowo kluczowe języka APT określające dany typ elementu,
sposób definiowania - oznacza fragment instrukcji definicji geometrycznej definiującej dany element geometryczny lub macierz,
<u>NAZWA</u> - oznacza nazwę definiowanego elementu geometrycznego lub macierzy.

<u>Przykład</u>

W poniższych instrukcjach zostały wykorzystane definicje zagnieżdżone:

```
C1=CIRCLE/CENTER, (PT=POINT/Ø,Ø,Ø),RADIUS,3Ø
C1=CIRCLE/CENTER, (POINT/Ø,Ø,Ø) , RADIUS,3Ø
PSIS/(PL=PLANE/Ø,Ø,1,1Ø)
FROM/(POINT/Ø,1,-2)
GOLFT/C1,TO, (L1=LINE/1,-1,Ø,Ø)
MA1=MATRIX/(MATRIX/TRANSL,10,-5) , (MA2=MATRIX/XYROT,9Ø)
```

Instrukcje:

PSIS - służąca do zdefiniowania tzw. płaszczyzny przedmiotu,
FROM - służąca do początkowego ustawienia narzędzia,
GOLFT - określająca ruch narzędzia

będą omówione w dalszej części opisu. Podano je w tym miejscu w celu zasygnalizowania, że również w tych instrukcjach można stosować definicje zagnieżdżone.

8. POSTAĆ KANONICZNA DEFINICJI

Język APT pozwala na definiowanie elementów geometrycznych i macierzy wieloma różnymi sposobami (dopuszczalne postacie definicji są opisane w punktach 5 i 6.2). W celu zapamiętywania elementów geometrycznych oraz macierzy w jednolitej formie, system APT doprowadza twory zdefiniowane w programie obróbki części do standardowej postaci - tzw. postaci kanonicznej. Macierze oraz elementy geometryczne mają charakterystyczną dla danego typu elementu postać kanoniczną. W pkt 8.1 zostaną przedstawione postacie kanoniczne wszystkich elementów w systemie APT.

W celu przybliżenia czytelnikowi koncepcji postaci kanonicznej rozważmy poniższy przykład.

Przykład

W poniższym fragmencie programu obróbki części:

```
P1=POINT/2,2,Ø
C1=CIRCLE/Ø,Ø,Ø,4
L1=LINE/Ø,1,Ø,5,1,Ø
L2=LINE/5,Ø,Ø,5,1,Ø
P2=POINT/INTOF,L1,L2
P3=POINT/XLARGE,INTOF,L1,C1
```

zostały zdefiniowane następujące elementy geometryczne:

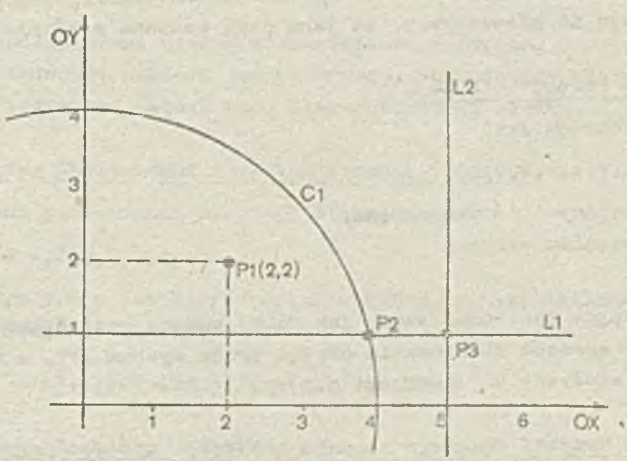
- punkt P1 - jako punkt o współrzędnych (2,2,Ø) ,
- okrąg C1 - jako okrąg o środku w punkcie (Ø,Ø,Ø) i promieniu 4,
- prosta L1 - jako prosta przechodząca przez punkty (Ø,1,Ø) i (5,1,Ø) ,
- prosta L2 - jako prosta przechodząca przez punkty (5,Ø,Ø) i (5,1,Ø) ,
- punkt P2 - jako punkt leżący na przecięciu prostych L1 i L2,
- punkt P3 - jako punkt leżący na przecięciu okręgu C1 i prostej L1, spełniającej warunek XLARGE.

W programie wystąpiły więc trzy postacie definicji punktu. W każdym z tych wypadków system APT (wykonując odpowiednie obliczenia) doprowadza definicję do postaci kanonicznej i przedstawia punkt w postaci jego trzech współrzędnych x,y,z.

Tak więc w tym wypadku postacie kanoniczne definicji punktów będą wyglądały następująco:

punkt	postać kanoniczna
P1	2, 2, Ø
P2	5, 1, Ø
P3	3.872, 1, Ø

Przykład ten jest zilustrowany graficznie na rys. 91.



Rys. 91. Ilustracja graficzna do przykładu tworzenia postaci kanonicznej punktu

8.1. Spis postaci kanonicznych elementów geometrycznych i macierzy

- Postać kanoniczna punktu POINT

Postacią kanoniczną punktu jest:

(x,y,z)

gdzie: x,y,z są współrzędnymi prostokątnymi punktu w układzie odniesienia, w którym ten punkt został zdefiniowany.

- Postać kanoniczna rozkładu punktów (PATERN)

Postacią kanoniczną rozkładu punktów jest:

$$(x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \ldots, x_i, y_i, z_i, \ldots, x_n, y_n, z_n)$$

gdzie: x_i, y_i, z_i są współrzędnymi prostokątnymi i-tego punktu w rozkładzie punktów, zaś n jest ilością punktów w tym rozkładzie $(1 \leq i \leq n)$

- Postać kanoniczna wektora (VECTOR)

Postacią kanoniczną wektora jest:

$$(a, b, c)$$

gdzie: a,b,c są składowymi wektora względem odpowiednio osi OX,OY,OZ w prostokątnym układzie współrzędnych.

- Postać kanoniczna prostej (LINE)

Postacią kanoniczną prostej jest:

$$(a, b, c, d)$$

gdzie a,b,c,d są współczynnikami równania

$$ax+by+cz-d=0$$

przy czym c=0.

Postać kanoniczna prostej jest taka sama, jak postać kanoniczna płaszczyzny, co wynika ze specyficznego traktowania prostej przez system APT, a mianowicie jako płaszczyznę prostopadłą do płaszczyzny OXY (por. pkt 5.4).

Współczynniki a,b,c są składowymi znormalizowanego wektora (czyli wektora o długości równej 1), prostopadłego do płaszczyzny, za jaką jest uważana zdefiniowana prosta.

- Postać kanoniczna okręgu (CIRCLE)

Postacią kanoniczną okręgu jest

$$(x, y, z, a, b, c, r)$$

gdzie: x,y,z - są współrzędnymi środka okręgu,
r - jest promieniem okręgu,
zaś a=0, b=0, c=1.

Postać kanoniczna okręgu jest taka sama, jak dalej podana postać kanoniczna walca, co wynika ze specyficznego sposobu traktowania okręgu przez system APT, a mianowicie jako walca prostopadłego do płaszczyzny OXY (por.pkt 5.5).

- Postać kanoniczna krzywej drugiego stopnia(LCONIC), elipsy (ELLIPS) i hiperboli (HYPERB)

Postać kanoniczna dowolnej krzywej drugiego stopnia, jak również elipsy i hiperboli jest taka sama, jak dla powierzchni stopnia drugiego, omówionej w dalszej części niniejszego punktu.

- Postać kanoniczna krzywej czwartego stopnia (GCONIC)

Postać kanoniczna krzywej czwartego stopnia również jest taka sama, jak dla powierzchni stopnia drugiego.

- Postać kanoniczna płaszczyzny(PLANE)

Postacią kanoniczną płaszczyzny jest:

(a,b,c,d)

gdzie a,b,c,d są odpowiednimi współczynnikami równania

ax+by+cz-d=Ø

opisującego tę płaszczyznę.

Należy zauważyć, że współczynniki a,b,c są składowymi znormalizowanego wektora, prostopadłego do opisywanej płaszczyzny.

- Postać kanoniczna kuli (SPHERE)

Postacią kanoniczną kuli jest:

(x,y,z,r)

gdzie x,y,z są współrzędnymi środka kuli w prostokątnym układzie współrzędnych, zaś r - jest promieniem kuli.

- Postać kanoniczna walca (CYLNDR)

Postacią kanoniczną walca jest:

(x,y,z,a,b,c,r)

gdzie: x,y,z - są współrzędnymi punktu leżącego na osi walca,
a,b,c - są składowymi wektora jednostkowego, wskazującego kierunek osi walca,
r - jest promieniem walca.

- Postać kanoniczna stożka (CONE)

Postacią kanoniczną stożka jest:

(x,y,z,a,b,c,cosα)

gdzie: x,y,z - są współrzędnymi punktu wierzchołkowego stożka,
a,b,c - są składowymi wektora jednostkowego wskazującego kierunek osi stożka,
cosα - jest cosinusem połowy kąta wierzchołkowego stożka.

- Postać kanoniczna powierzchni drugiego stopnia (QADRIC)

Postacią kanoniczną powierzchni drugiego stożka jest:

(a,b,c,d,e,f,g,h,p,q,r)

gdzie: a,b,c,d,e,f,g,h,p,q,r są odpowiednimi współczynnikami ogólnego równania opisującego powierzchnię drugiego stożka:

$$ax^2+by^2+cz^2+d+2fyz+2gxz+2hxy+2px+2qy+2rz=Ø$$

- Postać kanoniczna macierzy (MATRIX)

Postacią kanoniczną macierzy jest:

$$(a_{11},a_{12},a_{13},a_{14},a_{21},a_{22},a_{23},a_{24},a_{31},a_{32},a_{33},a_{34})$$

gdzie podane współczynniki definiują następującą macierz:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix}$$

- Postać kanoniczna walca tabelarycznego (TABCYL)

Walec tabelaryczny ma następującą postać kanoniczną:

$$(n,k,m_1,m_2,\dots,m_9,u_1,v_1,a_1,b_1,l_1,max_1,min_1,u_2,v_2,a_2,$$
$$b_2,l_2,max_2,min_2,\dots,u_n,v_n,a_n,b_n,l_n,max_n,min_n,u_{n+1},v_{n+1})$$

gdzie: n - całkowita liczba punktów, wyłącznie z punktami dodatkowymi,

k - słowo sterujące,

$m_1,\dots,m_9$ - macierz o wymiarach 3x3 definiująca obrót; zawiera ona cosinusy kierunkowe osi UVW w układzie współrzędnych XYZ,

u_i,v_i - punkt dodatkowy $(1 \leq i \leq n+1)$

a_i,b_i - przyrost współrzędnych dla i-tego odstępu $(1 \leq i \leq n)$

l_i - długość i-tego odstępu $(1 \leq i \leq n)$

max_i - maksymalny przyrost współrzędnych dla i-tego odstępu $(1 \leq i \leq n)$

min_i - minimalny przyrost współrzędnych dla i-tego odstępu $(1 \leq i \leq n)$

- Postać kanoniczna powierzchni wielostożkowej (POLCON)

Postacią kanoniczną powierzchni wielostożkowej jest:

$$(k,m_1,m_2,m_3,m_4,m_5,m_6,m_7,m_8,m_9,m_{10},m_{11},m_{12},$$
$$t,c_b,p_b,a_0,a_1,a_2,a_3,a_4,a_5,a_6,a_7,$$
$$b_0,b_1,b_2,b_3,b_4,b_5,b_6,b_7,c_0,c_1,c_2,c_3,c_4,c_5,c_6,c_7,$$
$$d_0,d_1,d_2,d_3,d_4,d_5,d_6,d_7,l_0,l_1,l_2,l_3,l_4,l_5,l_6,l_7,$$
$$h_0,h_1,h_2,h_3,h_4,h_5,h_6,h_7,p_0,p_1,p_2,p_3,p_4,p_5,p_6,p_7,$$
$$a_{1/2},b_{1/2},c_{1/2},d_{1/2},l_{1/2},h_{1/2},p_{1/2})$$

gdzie: k = { 2 - gdy występuje przynajmniej jeden współczynnik w równaniach przy pierwiastku kwadratowym,
1 - w wypadku przeciwnym

m_i - elementy macierzy transformacji $(1 \leq i \leq 12)$

t - odległość między definiowaną powierzchnią a powierzchnią roboczą,

c_b - początek powierzchni wielostożkowej,

p_b - zakres długość powierzchni wielostożkowej

$$\left.\begin{array}{l} a_0,\dots,a_7 \\ b_0,\dots,b_7 \\ c_0,\dots,c_7 \\ d_0,\dots,d_7 \\ l_0,\dots,l_7 \\ h_0,\dots,h_7 \\ p_0,\dots,p_7 \\ a_{1/2},b_{1/2},c_{1/2} \\ d_{1/2},l_{1/2},h_{1/2},p_{1/2} \end{array}\right\}$$ Współczynniki równań powierzchni (por. pkt 5.16)

- Postać kanoniczna powierzchni prostokreślnej (RLDSRF)

Postać kanoniczna powierzchni prostokreślnej może występować w dwóch formatach:

- format A jest używany, gdy przy definiowaniu powierzchni prostokreślnej były określone dwie podpowierzchnie,
- format B jest używany, gdy przy definiowaniu powierzchni prostokreślnej była określona jedna podpowierzchnia i punkt.

W skład postaci kanonicznej powierzchni prostokreślnej wchodzą:

- postacie kanoniczne podpowierzchni(w formacie B zamiast postaci kanonicznej drugiej podpowierzchni występuje postać kanoniczna punktu) - zob. pozycje od 32 do m oraz od m+13 do p (dla formatu A) lub pozycje od 32 do m oraz od m+13 do m+16 (dla formatu B) w tab.7,

- postacie kanoniczne dwóch punktów i wektora, które opisują płaszczyznę przecinającą pierwszą podpowierzchnię (zob. pozycje od m+1 do m+12 w tab. 7),
- postacie kanoniczne dwóch punktów i wektora, które opisują płaszczyznę przecinającą drugą podpowierzchnię (tylko dla formatu A) - zob. pozycje od p+1 do p+12 w tab. 7.

Jak więc wynika z powyższych informacji, długość postaci kanonicznej powierzchni prostokreślnej nie jest stała i zależy od długości postaci kanonicznych podpowierzchni. Jest ona również różna dla formatu A i B postaci kanonicznej. Długość postaci kanonicznej stanowi pierwszy element postaci kanonicznej (zob. tab. 7).

Dokładny opis postaci kanoniczenj powierzchni prostokreślnej z wyszczególnieniem, co znajduje się na poszczególnych pozycjach przedstawia tab. 7.

Tabela 7. Postać kanoniczna powierzchni prostokreślnej

Nr miejsca	Zawartość pozycji postaci kanonicznej	
	Format A	Format B
1	Liczba określająca długość postaci kanonicznej powierzchni prostokreślnej	
2	8	5
	(liczba postaci kanonicznych)	
3	32	32
	(wskaźnik czyli numer miejsca pierwszej postaci kanonicznej)	
4	m+1	m+1
	(wskaźnik na 2-gą postać kanoniczną)	
5	m+5	m+5
	(wskaźnik na 3 postać kanoniczną)	
6	m+9	m+9
	(wskaźnik na 4 postać kanoniczną)	
7	m+13	m+13
	(wskaźnik na 5 postać kanoniczną)	
8	p+1 (wskaźnik na 6 postać kanoniczną)	
9	p+5 (wskaźnik na 7 postać kanoniczną)	
10	p+9 (wskaźnik na 8 postać kanoniczną)	
11 12 ⋮ 31	obszar wykorzystywany przez program powierzchni prostokreślnej	
32	kod rodzaju powierzchni (liczba określająca typ pierwszej podpowierzchni)	
33 ⋮ m	postać kanoniczna pierwszej podpowierzchni	
m+1	kod punktu (liczba 3001)	
m+2	współrzędna x punktu	
m+3	współrzędna y punktu	
m+4	współrzędna z punktu	
m+5	kod punktu (liczba 3001)	
m+6	współrzędna x punktu	
m+7	współrzędna y punktu	
m+8	współrzędna z punktu	

od Tabeli 7

Nr miejsca	Zawartość pozycji postaci kanonicznej Format A	Format B
m+9	kod wektora (liczba 3011)	
m+10	składowa x wektora	
m+11	składowa y wektora	
m+12	składowa z wektora	
m+13	kod rodzaju powierzchni (liczba określająca typ drugiej podpowierzchni)	kod punktu (liczba 3001)
m+14	postać kanoniczna drugiej podpowierzchni	współrzędna x punktu
m+15		współrzędna y punktu
m+16		współrzędna z punktu
:		
p		
p+1	kod punktu (liczba 3001)	
p+2	współrzędna x punktu	
p+3	współrzędna y punktu	
p+4	współrzędna z punktu	
p+5	kod punktu (liczba 3001)	
p+6	współrzędna x punktu	
p+7	współrzędna y punktu	
p+8	współrzędna z punktu	
p+9	kod wektora (liczba 3011)	
p+10	składowa x wektora	
p+11	składowa y wektora	
p+12	składowa z wektora	

Należy zwrócić uwagę, że w postaci kanonicznej powierzchni prostokreślnej płaszczyzna przecinająca podpowierzchnię opisana jest w postaci dwóch punktów i wektora. Jest ona przekształcana do tej postaci przez system APT nawet wtedy, gdy w instrukcji definiującej powierzchnię prostokreślną została ona określona przez podanie 3 punktów.

W postaci kanonicznej elementy geometryczne podane są w jednostkach takiego układu współrzędnych, w którym były definiowane. Jeżeli więc zostały one zdefiniowane w lokalnym układzie współrzędnych (opisanym pewną macierzą przekształceń) , to w postaci kanonicznej są one zapamiętane w jednostkach układu lokalnego. Wówczas jako dodatkowa informacja w postaci kanonicznej elementu geometrycznego jest zapamiętana nazwa macierzy przekształceń. Odpowiednie przekształcenie układu współrzędnych jest dokonywane tylko wtedy, gdy do danego elementu geometrycznego odwołuje się inna definicja, bądź też instrukcja ruchu (por. pkt 6.1).

Dla potrzeb systemu APT w postaci kanonicznej danego elementu geometrycznego umieszczane są również pewne informacje dodatkowe takie, jak:

- kod typu elementu geometrycznego, określający czy jest to punkt,prosta, itp., który jest pewną liczbą,
- nazwa elementu geometrycznego,
- indeks - o ile element był definiowany jako element tablicy elementów geometrycznych,
- informacje na temat układu odniesienia, w którym był definiowany element geometryczny.

Informacje te są potrzebne dla systemu APT i są umieszczone przez system bez udziału programisty i dlatego nie będą szczegółowo omawiane.

8.2. Instrukcja CANON

Instrukcja CANON pozwala na zdefiniowanie przez programistę elementu geometrycznego lub macierzy w postaci kanonicznej. Umożliwia ona również programiście zmianę wprowadzonych wcześniej definicji. Należy podkreślić, że jest to jedyna dozwolona w systemie APT możliwość przedefiniowania (czyli zmiany wcześniej występującej definicji na inną) elementów geometrycznych i macierzy.

Istnieją trzy możliwe postacie instrukcji CANON, które będą opisane poniżej. Słowo CANON może w nich wystąpić jako słowo kluczowe lub modyfikator.

● Rozpoczęcie (zakończenie) dopuszczalnej zmiany definicji elementów geometrycznych macierzy

Dopuszczalna jest następująca postać instrukcji CANON

$$\text{CANON/}\begin{Bmatrix}\text{ON}\\ \text{OFF}\end{Bmatrix}$$

gdzie: CANON - jest słowem kluczowym,
ON, OFF - są modyfikatorami.

Pojawienie się instrukcji CANON/ON powoduje, że dopuszczalne jest przedefiniowanie, tzn. wystąpienie nowej definicji "zastępującej" poprzednią, wszystkich elementów geometrycznych i macierzy, których definicje wystąpiły przed instrukcją CANON/ON lub już po tej instrukcji. Przedefiniowanie takie dopuszczalne jest dowolną ilość razy. Wystąpienie instrukcji CANON/OFF kończy możliwość zmiany wcześniejszych definicji.

Przykład

W poniższym fragmencie programu obróbki części:

```
PT=POINT/Ø,Ø,Ø      .............  (1)
C1=CIRCLE/CENTER,PT,RADIUS,1Ø
CANON/ON
    :
PT=POINT/1,1,1      .............  (2)
C2=CIRCLE/CENTER,PT,RADIUS,1Ø
PT=POINT/2,2,2      .............  (3)
    :
CANON/OFF
C3=CIRCLE/CENTER,PT,RADIUS,1Ø
```

punkt PT był początkowo zdefiniowany jako punkt o współrzędnych (Ø,Ø,Ø). Po wystąpieniu instrukcji CANON/ON definicja tego punktu została zmieniona i punkt PT stał się punktem o współrzędnych (1,1,1). Za pomocą instrukcji ... (3) zmieniono ponownie definicję punktu PT i będzie to punkt o współrzędnych (2,2,2).

Należy zwrócić uwagę na fakt, że jeżeli używano punktu PT do zdefiniowania innych elementów geometrycznych, to w zależności od tego, w którym miejscu programu wystąpiła ta definicja, punkt PT będzie miał różne wartości współrzędnych. A mianowicie między instrukcjami:

(1) i (2) punkt PT będzie miał współrzędne (Ø,Ø,Ø)
(2) i (3) punkt PT będzie miał współrzędne (1,1,1)
po instrukcji (3) punkt PT będzie miał współrzędne (2,2,2).

W związku z tym okręgi C1,C2,C3, które są definiowane jako okręgi o środku w punkcie PT i promieniu 1Ø będą różnymi okręgami. Tak więc okrąg:

C1 - będzie okręgiem o środku w punkcie (Ø,Ø,Ø) i promieniu 1Ø
C2 - będzie okręgiem o środku w punkcie (1,1,1) i promieniu 1Ø
C3 - będzie okręgiem o środku w punkcie (2,2,2) i promieniu 1Ø

Podczas zmiany wcześniejszych definicji elementów geometrycznych między instrukcjami CANON/ON i CANON/OFF należy pamiętać, że nie mogą zmieniać typu elementu geometrycznego. Oznacza to, że jeżeli w poprzednim przykładzie PT był zdefiniowany jako punkt, to nie można go definiować jako prostą, płaszczyznę itp. Można go tylko ponownie zdefiniować jako punkt o innych wartościach współrzędnych.

Przykład

W poniższym fragmencie programu obróbki części

```
PT=POINT/CANON,Ø,Ø,Ø
PT=LINE/CANON,Ø,1,Ø,1
```

próba zdefiniowania w postaci kanonicznej elementu PT jako prostej, który został uprzednio zdefiniowany jako punkt, będzie potraktowana jako błąd.

- Definicja w postaci kanonicznej

Definicja w postaci kanonicznej elementu geometrycznego lub macierzy ma następującą postać:

NAZWA = typ/CANON,parametry

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego elementu geometrycznego lub macierzy,
typ - jest odpowiednim słowem kluczowym określającym typ definiowanego elementu geometrycznego lub macierzy (np. POINT, LINE, CIRCLE, MATRIX),
CANON - jest modyfikatorem określającym, że element jest definiowany w postaci kanonicznej,
parametry - są kolejnymi elementami występującymi w postaci kanonicznej definiowanego elementu geometrycznego lub macierzy (zob. pkt 8.1).

Przykład

Instrukcja

```
PT=POINT/CANON,Ø,1,2
```

jest definicją punktu PT w postaci kanonicznej. Określa ona punkt o współrzędnych (Ø,1,2).

Instrukcja

```
PL=PLANE/CANON,Ø,Ø,1,1
```

jest definicją płaszczyzny PL w postaci kanonicznej. Będzie to płaszczyzna opisana równaniem

$Ø \cdot x + Ø \cdot y + 1 \cdot z - 1 = Ø$ czyli $z=1$

Instrukcja

```
C1=CIRCLE/CANON,1,2,3,Ø,Ø,1,1Ø
```

jest definicją okręgu C1 w postaci kanonicznej. Będzie to okrąg o środku w punkcie (1,2,3), wektorze osi (Ø,Ø,1) (okrąg traktowany jest przez system APT jako walec prostopadły do płaszczyzny OXY - por. pkt 5.5 i 8.1) oraz promieniu równym 1Ø.

Definicja elementu w postaci kanonicznej może się pojawić w programie obróbki części dowolną ilość razy, czyli element może być dowolną ilość razy przedefiniowany. Oczywiście element może być przedefiniowany tylko jako element tego samego typu, tzn. nie można elementu zdefiniowanego jako punkt definiować ponownie w postaci kanonicznej, np. jako prostą czy okrąg.

Przykład

```
L1=LINE/CANON,Ø,Ø,1,1,
L1=POINT/CANON,1,1,1
```

Przedstawiony powyżej przykład definiowania w postaci kanonicznej elementu L1 najpierw jako prostej, a następnie jako punkt, spowoduje wystąpienie błędu.
Należy zwrócić uwagę, że element definiowany ponownie w postaci kanonicznej mógłby być poprzednio definiowany przy użyciu normalnej definicji, bez słowa CANON.

Przykład

Dopuszczalne jest następujące przedefiniowanie punktu PT:

```
PT=POINT/Ø,Ø,Ø
PT=POINT/CANON,1,1,1
```

- Odwołanie się do poprzedniej postaci kanonicznej

Możliwe jest zdefiniowanie elementu geometrycznego lub macierzy przez odwołanie się do postaci kanonicznej uprzednio zdefiniowanego elementu tego samego typu.

Definicja taka ma postać:

NAZWA=typ/ $\left\{\begin{matrix}\text{NAZWA}\\ \text{NAZWA1}\end{matrix}\right\}$,CANON,parametry

gdzie: NAZWA - jest nazwą definiowanego elementu geometrycznego lub macierzy,
typ - jest słowem kluczowym języka APT określającym typ definiowanego elementu,
NAZWA1 - jest nazwą elementu tego samego typu, do którego postaci kanonicznej się odwołujemy,
CANON - jest modyfikatorem oznaczającym, że za nim występują parametry postaci kanonicznej,
parametry - są elementami występującymi w postaci kanonicznej.

Sposób podawania parametrów zostanie podany w poniższym przykładzie.

Przykład

```
PL1=PLANE/CANON,Ø,Ø,1,1
PL2=PLANE/PL1,CANON, , , ,2
PL3=PLANE/PL1,CANON,1, ,Ø,3
PL4=PLANE/PL1,CANON,1,1,Ø,4
```

Płaszczyznę PL1 zdefiniowano w postaci kanonicznej jako płaszczyznę opisaną równaniem z=1. Postacią kanoniczną płaszczyzny PL1 jest więc (Ø,Ø,1,1).

Definicja płaszczyzny PL2 odwołuje się do postaci kanonicznej płaszczyzny PL1 w następujący sposób:

- trzy pierwsze elementy w postaci kanonicznej PL2 będą takie same, jak w postaci kanonicznej PL1,
- czwarty element postaci kanonicznej PL2 będzie miał wartość 2.

W efekcie więc płaszczyzna PL2 będzie miała postać kanoniczną (Ø,Ø,1,2) a więc będzie to płaszczyzna z=2

Oddzielone przecinkami puste miejsca w definicji płaszczyzny PL2 oznaczają, że odpowiadające tym pozycjom elementy postaci kanonicznej PL1 mają zostać przeniesione do postaci kanonicznej płaszczyzny PL2. Można w ten sposób "przenieść" dowolną liczbę elementów z postaci kanonicznej, do której się odwołujemy. W szczególności w definicji można podać wszystkie elementy postaci kanonicznej (zob. definicja płaszczyzny PL4) . Z punktu widzenia formalnego będzie to poprawna instrukcja, jednak w rzeczywistości będzie to definicja płaszczyzny w postaci kanonicznej, a nie odwołanie się do innej postaci kanonicznej.

Za pomocą tej postaci instrukcji można zmienić postać kanoniczną elementu czyli odwołać się do postaci kanonicznej definiowanego elementu. Zostanie to omówione w poniższym przykładzie.

Przykład

```
1   PL1=PLANE/CANON,Ø,Ø,1,1
2   PL1=PLANE/PL1,CANON, , , ,2
3   PL1=PLANE/PL1,CANON,1,1,Ø,3
```

W instrukcji 1 zdefiniowana została płaszczyzna o postaci kanonicznej (Ø,Ø,1,1) czyli płaszczyzna opisana równaniem z=1.

Instrukcja 2 odwołuje się do postaci kanonicznej płaszczyzny PL1 określonej w instrukcji 1 i zmienia w niej ostatni parametr. Tak więc płaszczyzna PL1 będzie miała teraz postać kanoniczną (Ø,Ø,1,2) , a więc będzie to płaszczyzna opisana równaniem z=2.

Odwołując się do poprzedniej postaci kanonicznej płaszczyzny można zmienić w niej większą liczbę lub nawet wszystkie parametry (instrukcja 3), przy czym zmiana wszystkich parametrów postaci kanonicznej będzie w rzeczywistości nową definicją płaszczyzny w postaci kanonicznej.

Przy użyciu instrukcji CANON w formie odwołania się do innej postaci kanonicznej należy wziąć pod uwagę następujące dane:

- typ definiowanego elementu musi być zgodny z typem elementu, do którego postaci kanonicznej się odwołujemy,
- definiowany element nie może być powierzchnią prostokreślną,
- w szczególności w definicji można się odwoływać do poprzedniej postaci kanonicznej elementu, który właśnie definiujemy (odpowiada to więc częściowej zmianie postaci kanonicznej tego definiowanego elementu),
- przecinki po prawej stronie słowa CANON oznaczają pozycję w postaci kanonicznej, należy więc pamiętać, aby liczba pozycji nie przekroczyła liczby elementów w postaci kanonicznej danego typu (zob. pkt. 8.1),
- dopuszczalna jest zmiana jednego lub większej liczby parametrów w postaci kanonicznej,
- nie jest dopuszczalna postać odwołania się do postaci kanonicznej, w której nie został podany ostatni parametr postaci kanonicznej,
- każde niepuste pole po prawej stronie słowa CANON może zawierać liczbę, zmienną lub wyrażenie arytmetyczne ujęty w nawiasy,
- do postaci kanonicznej danego elementu można się odwoływać w programie dowolną ilość razy,
- ten sam element geometryczny można definiować w programie poprzez odwołanie się do postaci kanonicznej, dowolną ilość razy.

9. PRZYKŁADY DEFINIOWANIA KSZTAŁTU CZĘŚCI

Podane w poprzednich punktach instrukcje pozwalają programiście na zdefiniowanie kształtu części - zgodnie z wymaganiami systemu APT. Tak więc programista - na podstawie zwymiarowanego rysunku technicznego części - musi:

- dokonać wyboru układu współrzędnych,
- w wybranym układzie współrzędnych opisać kształt geometryczny części, a więc podać zbiór definicji geometrycznych (prostych, okręgów, płaszczyzn, itp).

Postępowanie takie będzie zilustrowane na przykładach.

Należy zwrócić uwagę, że powstanie w ten sposób fragment programu obróbki części, do którego trzeba będzie dołączyć instrukcje ruchu narzędzia oraz pewne instrukcje dodatkowe, które zostaną omówione w dalszych częściach niniejszego opracowania.

Przykład 1

Dana jest część opisana rysunkiem technicznym przedstawionym na rys. 92.

Na rys. 93 przedstawiono tę część w układzie współrzędnych OXY z zaznaczeniem prostych L1, L2, L3, L4, L5 oraz okręgu C1, które będą opisywać kształt tej części w systemie APT. Na podstawie tak przygotowanego rysunku można już napisać instrukcje języka APT, definiujące w programie kształt części.

Tak więc prostą L1 można zdefiniować jako oś OX, zaś prostą L2 - jako oś OY układu współrzędnych. Odpowiednie instrukcje będą więc miały postać:

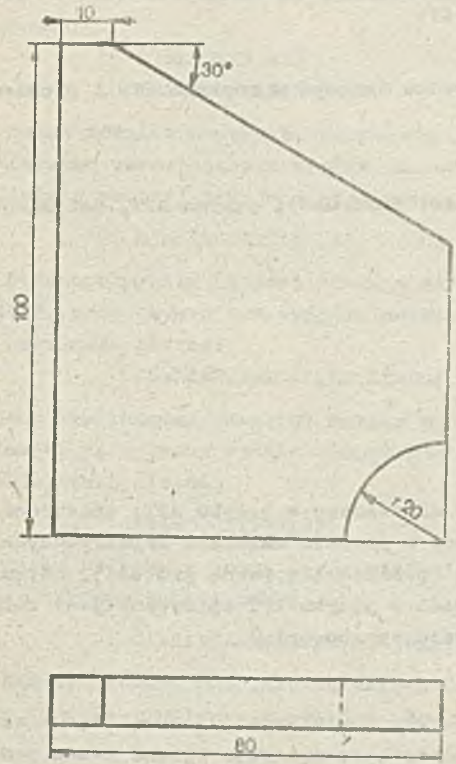
```
L1=LINE/XAXIS
L2=LINE/YAXIS
```

Na podstawie rysunku łatwo zauważyć, że prosta L3 przechodzi przez punkty o współrzędnych $x_1=0$ i $y_1=100$ oraz $x_2=80$ i $y_2=100$, stąd więc definicja prostej L3 będzie miała postać:

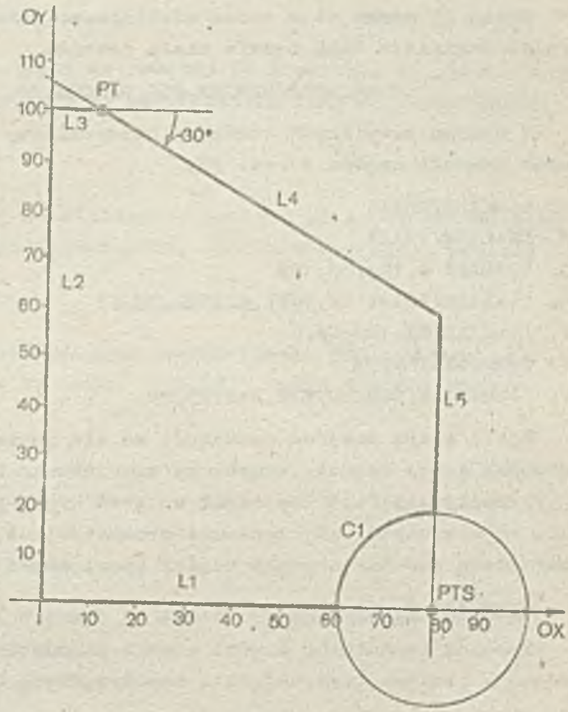
```
L3=LINE/Ø,1ØØ,8Ø,1ØØ
```

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że w wielu wypadkach można stosować zamiennie różne postacie definicji dopuszczalnych w języku APT. W tym konkretnym wypadku (prostej L3) można również zastosować alternatywną postać definicji. Wystarczy tylko zauważyć, że prosta L3 jest równoległa do prostej L1 i odległa od niej o d=100. Można więc zdefiniować prostą L3 w następujący sposób:

```
L3=LINE/PARLEL,L1,YLARGE,1ØØ
```



Rys.92. Rysunek techniczny części z przykładu 1



Rys.93. Rysunek części z przykładu 1 w układzie współrzędnych OXY

W instrukcji należy podać modyfikator YLARGE, wybierając w ten sposób z dwóch prostych, które są równoległe do prostej L1 i leżą w odległości d=100 od niej, prostą o większych niż dla L1 wartościach współrzędnych y.

Następnie można zdefiniować prostą L4 jako prostą przechodzącą przez punkt (10,100) i nachyloną do prostej L3 pod kątem -30°. Definicja taka będzie miała postać:

L4=LINE/(10,100),ATANGL,-30,L3

W instrukcji tej punkt, przez który ma przechodzić prosta L4 podany został w postaci definicji zagnieżdżonej. Definicja zagnieżdżona punktu mogłaby również wystąpić w postaci

(POINT/10,100)

Alternatywnym sposobem zdefiniowania prostej L4 byłoby też zdefiniowanie punktu (10,100) w sposób jawny, a więc

PT=POINT/10,100

a następnie podanie definicji prostej L4, wykorzystującej zdefiniowany wcześniej punkt PT, czyli

L4=LINE/PT,ATANGL,-30,L3

Prostą L5 można zdefiniować przeprowadzając podobne rozumowanie, jak dla prostej L3. Wystarczy więc zauważyć, że przechodzi ona przez punkty (80,100) i (80,0). Definicja taka będzie miała postać:

L5=LINE/80,100,80,0

Można też zauważyć, że prosta L5 jest równoległa do wcześniej zdefiniowanej prostej L2 i odległa od niej o d=80 i fakt ten wykorzystać pisząc odpowiednią definicję prostej.

Należy jeszcze zdefiniować okrąg C1. W tym celu można najpierw zdefiniować punkt PTS jako punkt o współrzędnych x=80, y=∅, będący środkiem okręgu C1:

PTS=POINT/8∅,∅

Okrąg C1 można więc teraz zdefiniować jako okrąg o środku leżącym w punkcie PTS i promieniu r=2∅. Definicja taka będzie miała postać:

C1=CIRCLE/CENTER,PTS,RADIUS,2∅

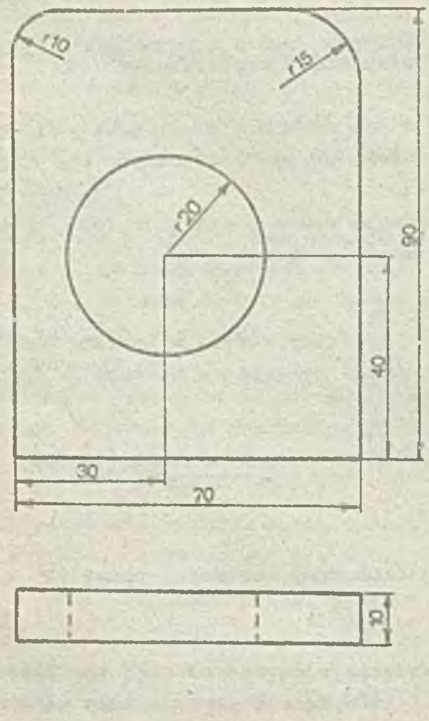
W wyniku powyższych rozważań otrzymaliśmy poniższy zbiór instrukcji języka APT, definiujących kształt części z rys. 93.

1. L1=LINE/XAXIS
2. L2=LINE/YAXIS
3. L3=LINE/∅,1∅∅,8∅,1∅∅
4. L4=LINE/(POINT 1∅,1∅∅),ATANGL,3∅,L3
5. L5=LINE/8∅,1∅∅,8∅,∅
6. PTS=POINT/8∅,∅
7. C1=CIRCLE/CENTER,PTS,RADIUS,2∅

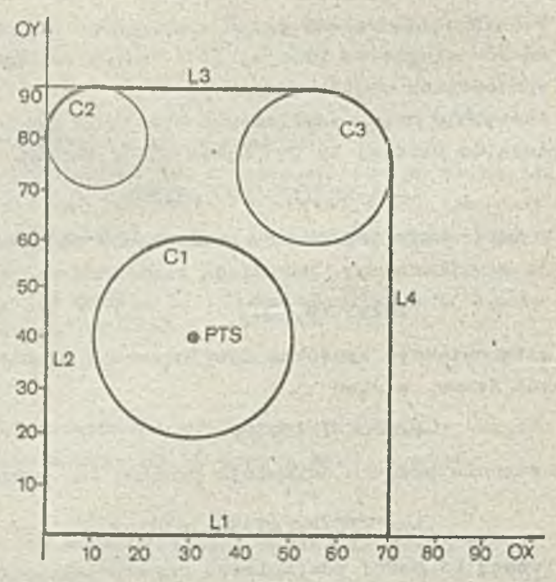
Warto w tym miejscu zauważyć, że dla potrzeb programu napisanego w języku APT, opisującego obróbkę danej części, wystarczy zdefiniować kształt części w płaskim układzie współrzędnych OXY, pomijając fakt, że część ta jest bryłą przestrzenną (posiadającą pewną grubość). Stanie się to oczywiste, gdy zostanie przedstawione, w jaki sposób w języku APT opisywany jest ruch narzędzia podczas obróbki części (por. część II niniejszego opracowania).

Przykład 2

Rysunek techniczny części został przedstawiony na rys. 94, zaś na rys. 95 część tę umieszczono w prostokątnym układzie współrzędnych OXY. Kształt części można więc opisać przez podanie



Rys.94. Rysunek techniczny części z przykładu 2



Rys.95. Rysunek części z przykładu 2 w układzie współrzędnych OXY

zbioru instrukcji definiujących proste L1, L2, L3, L4 oraz okręgi C1, C2, C3. Pomocniczą rolę pełnić będzie definicja punktu PTS.

Prosta L1 oraz L2 można zdefiniować odpowiednio jako oś OX i OY. Instrukcje będą więc miały postać:

L1=LINE/XAXIS
L2=LINE/YAXIS

Można również zauważyć, że prosta L3 jest równoległa do prostej L1 i odległa od niej o d=90, w kierunku wzrastających współrzędnych y (należy więc użyć modyfikatora YLARGE). Odpowiednia definicja prostej przyjmie więc postać:

L3=LINE/PARLEL,L1,YLARGE,9∅

Podobnie prosta L4 jest równoległa do uprzednio zdefiniowanej prostej L2 i odległa od niej o d=7∅, przy czym w tym wypadku należy użyć modyfikatora XLARGE. Stąd też definicja prostej L4 przyjmuje postać:

L4=LINE/PARLEL,L2,XLARGE,7∅

Aby zdefiniować okrąg C1 należy najpierw zdefiniować jego środek (punkt PTS). Z wymiarów podanych na rysunku wynika bezpośrednio, że będzie to punkt (3∅,4∅), stąd też definicja będzie miała postać:

PTS=POINT/3∅,4∅

Okrąg C1 będzie można teraz zdefiniować jako okrąg o środku w punkcie PTS i promieniu r=2∅, a więc za pomocą instrukcji:

C1=CIRCLE/CENTER,PTS,RADIUS,2∅

Należy jeszcze zdefiniować okręgi C2 i C3, jako styczne do prostych odpowiednio L2 i L3 oraz L3 i L4. Instrukcje przyjmą więc następującą postać:

C2=CIRCLE/XLARGE,L2,YSMALL,L3,RADIUS,1∅
C3=CIRCLE/YSMALL,L3,XSMALL,L4,RADIUS,15

Środek okręgu C2 ma większą współrzędną x niż punkt styczności okręgu z prostą L2, należało więc użyć modyfikatora XLARGE przy określaniu położenia okręgu względem tej prostej. Względem prostej L3 położenie okręgu określa modyfikator YSMALL, gdyż środek okręgu ma mniejszą współrzędną y niż odpowiedni punkt styczności. Podobne rozważania przeprowadzono dla modyfikatorów określających położenie okręgu C3 względem prostych L3 i L4.

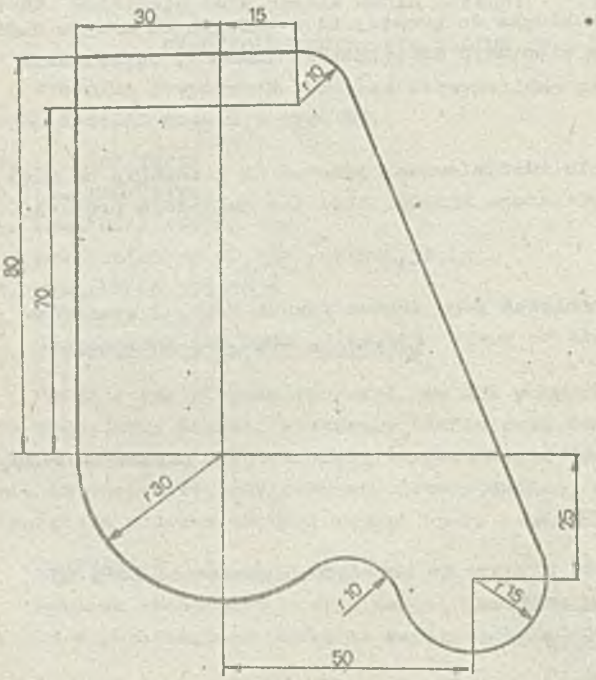
Poniżej przedstawiono zebrany zbiór instrukcji opisujących kształt części z tego przykładu.

1. L1=LINE/XAXIS
2. L2=LINE/YAXIS
3. L3=LINE/PARLEL,L1,YLARGE,9∅
4. L4=LINE/PARLEL,L2,XLARGE,7∅
5. PTS=POINT/3∅,4∅
6. C1=CIRCLE/CENTER,PTS,RADIUS,2∅
7. C2=CIRCLE/XLARGE,L2,YSMALL,L3,RADIUS,1∅
8. C3=CIRCLE/YSMALL,L3,XSMALL,L4,RADIUS,15

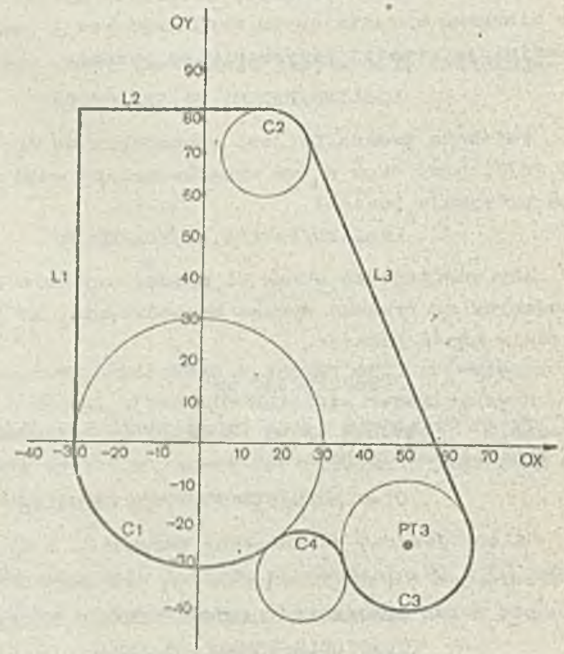
Należy zwrócić uwagę, że przy określaniu kształtu części ważna jest kolejność definiowania poszczególnych elementów. Chodzi o to, że instrukcje mogą się powoływać jedynie na elementy geometryczne zdefiniowane wcześniej, np. definicji okręgów C2 i C3 nie można umieścić przed definicjami prostych L2, L3 i L4, ponieważ okręgi C2 i C3 zostały określone za pomocą tych właśnie prostych. Natomiast definicję punktu PTS i okręgu C1 można umieścić przed definicjami prostych, gdyż okrąg C1 został określony niezależnie od nich.

Przykład 3

Dana jest część opisana rysunkiem technicznym przedstawionym na rys. 96 (dla uproszczenia podano tylko jeden, najbardziej nas interesujący rzut). Kształt części będą opisywać okręgi C1, C2, C3, C4 oraz proste L1, L2, L3 (rys. 97). Środek okręgu C1, który był używany jako punkt bazowy do zwymiarowania całego rysunku, jest przyjęty za początek układu współrzędnych OXY.



Rys.96. Rysunek techniczny części z przykładu 3



Rys.97. Rysunek części z przykładu 3 w układzie współrzędnych OXY

Okrąg C1 jest okręgiem o środku w punkcie (Ø,Ø) i promieniu 3Ø, definicja jego będzie więc miała postać:

C1=CIRCLE/Ø,Ø,3Ø

Okrąg C2 jest okręgiem o środku w punkcie (15,7Ø) i promieniu 1Ø, definicja jego będzie więc miała postać:

C2=CIRCLE/CENTER,(POINT 15,7Ø),RADIUS,1Ø

W powyższej instrukcji punkt, będący środkiem okręgu, podano w postaci definicji zagnieżdżonej.

Środek okręgu C3 leży w punkcie PT3 o współrzędnych (5Ø,25). Punkt ten można zdefiniować następująco:

PT3=POINT/5Ø,25

Definicja okręgu C3 (o promieniu równym 15) będzie wówczas miała postać:

C3=CIRCLE/CENTER,PT3,RADIUS,15

Okrąg C4 należy zdefiniować jako okrąg równocześnie styczny do dwóch okręgów C1 oraz C3, przy czym spełnia on również warunki:

- leży na zewnątrz zarówno okręgu C1, jak i C3, tak więc w odniesieniu do obu tych okręgów należy podać modyfikator OUT,
- współrzędna x środka okręgu ma większą wartość niż współrzędna x środka okręgu C1, należy więc zastosować modyfikator XLARGE.

Po uwzględnieniu powyższych uwag definicja okręgu C4 będzie miała postać:

C4=CIRCLE/XLARGE,OUT,C1,OUT,C3,RADIUS,1Ø

Prosta L1 przechodzi przez punkty (-25,Ø) i (-25,7Ø), można ją więc zdefiniować:

L1=LINE/-25,Ø,-25,7Ø

Z kolei prosta L2 przechodzi przez punkty (-25,7Ø) i (10,7Ø), definicja jej będzie miała więc następującą postać:

L2=LINE/-25,7Ø,1Ø,7Ø

Prostą L3 należy zdefiniować jako prostą równocześnie styczną do dwóch okręgów C2 i C3. Patrząc ze środka okręgu C2 w kierunku okręgu C3 stwierdzamy, że prosta ta ma leżeć po lewej stronie (LEFT) okręgu C2 oraz po lewej stronie okręgu C3. Definicja prostej przyjmie więc następującą postać:

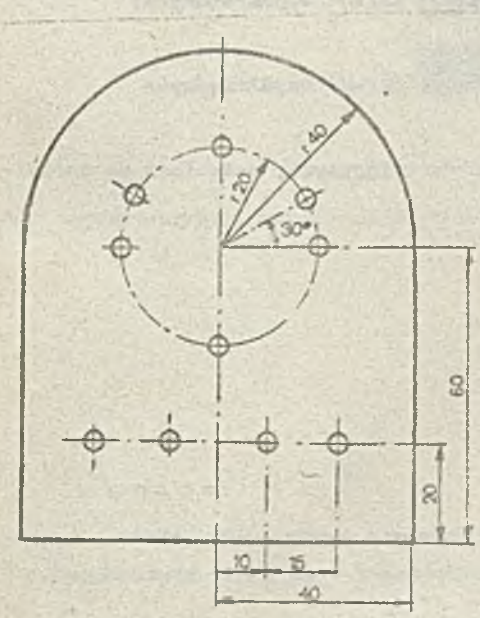
L3=LINE/LEFT,TANTO,C2,LEFT,TANTO,C3

Fragment programu obróbki części opisujący kształt części przedstawionej na rys. 97 będzie więc wyglądał następująco:

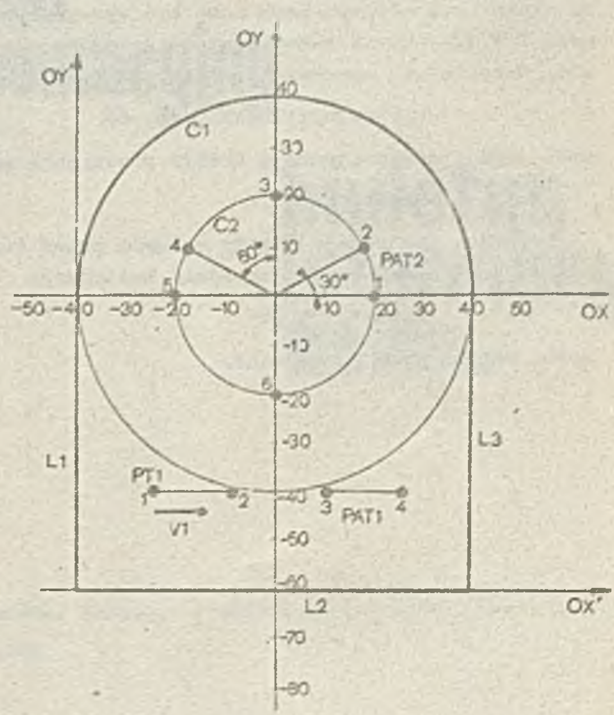
1. C1=CIRCLE/Ø,Ø,3Ø
2. C2=CIRCLE/CENTER,(POINT 15,7Ø),RADIUS,1Ø
3. PT3=POINT/5Ø,25
4. C3=CIRCLE/CENTER,PT3,RADIUS,15
5. C4=CIRCLE/XLARGE,OUT,C1,OUT,C2,RADIUS,1Ø
6. L1=LINE/-25,Ø,-25,7Ø
7. L2=LINE/-25,7Ø,1Ø,7Ø
8. L3=LINE/LEFT,TANTO,C2,LEFT,TANTO,C3

Przykład 4

Dana jest część przedstawiona na rys. 98. Zaznaczone na rysunku otwory, które należy wywiercić, mają średnicę ø5.



Rys.98. Rysunek techniczny części z przykładu 4.
Średnica otworów wynosi ø 5



Rys.99. Rysunek części z przykładu 4 w układzie współrzędnych OXY

Poniżej przedstawiono fragment programu obróbki części, definiującej kształt tej części oraz położenie otworów (zgodnie z nomenklaturą przedstawioną na rys. 99).

1. C1=CIRCLE/Ø,Ø,4Ø
2. C2=CIRCLE/Ø,Ø,2Ø
3. L1=LINE/(POINT -4Ø,-6Ø),LEFT,TANTO,C1
4. L2=LINE/-4Ø,-6Ø,40,-6Ø
5. L3=LINE/(POINT 4Ø,-6Ø),RIGHT,TANTO,C1
6. PT1=POINT/-25,-4Ø
7. V1=VECTOR/1,Ø,Ø
8. PAT1=PATERN/LINEAR,PT1,V1,INCR,15,2Ø,15
9. PAT2=PATERN/ARC,C2,Ø,CCLW,INCR,3Ø,6Ø,6Ø,3Ø,9Ø

Zewnętrzny kontur części określa okrąg C1 oraz prosta L1, L2, L3.

Dodatkowego wyjaśnienia wymaga sposób zdefiniowania położenia otworów - za pomocą rozkładów punktów PAT1 i PAT2.

Rozkład punktów PAT1 jest rozkładem liniowym. Przed podaniem definicji tego rozkładu, należy opisać pewne elementy dodatkowe, a mianowicie punkt początkowy rozkładu PT1 (instrukcja 6) oraz wektor V1 (instrukcja 7), który wskazuje kierunek wyznaczania kolejnych punktów rozkładu. Wówczas rozkład punktów PAT1 można zdefiniować (instrukcja 8) podając jako punkt początkowy PT1, wektor V1 określający kierunek prostej, na której będą leżeć punkty rozkładu oraz odległości między kolejnymi punktami.

Rozkład punktów PAT2 jest rozkładem kołowym, którego punkty leżą na okręgu C2 (zdefiniowanym instrukcją 2). W instrukcji 9, definiującej rozkład PAT2, podano odstępy kątowe między punktami tego rozkładu.

Na rys. 99 podano numery przy punktach rozkładów PAT1 i PAT2 określające kolejność punktów w rozkładzie.

Zauważmy, że rozważaną część wygodnie było zdefiniować w układzie współrzędnych OXY (rys.99). Na niektórych obrabiarkach może być wymagane, aby współrzędne były podane w układzie współrzędnych O'X'Y'. Wówczas przedstawiony wyżej fragment programu należy tylko nieznacznie zmodyfikować. Określa się mianowicie macierz definiującą przesunięcie układu współrzędnych:

MAT=MATRIX/TRANSL,-4Ø,-6Ø

oraz podaje się instrukcję REFSYS powodującą przekształcenie układu współrzędnych

REFSYS/MAT

Powyższe instrukcje należy wstawić przed instrukcjami definiującymi, natomiast po definicjach po instrukcji 9 umieścić instrukcję

REFSYS/NOMORE

która kończy przekształcenie.

BRANŻOWY OŚRODEK INFORMACJI NAUKOWEJ TECHNICZNEJ I EKONOMICZNEJ
INSTYTUTU MASZYN MATEMATYCZNYCH
02-078 Warszawa, ul. Krzywickiego 34, tel. 21-84-41 w. 391

BOINTE udziela informacji

z zakresu techniki komputerowej

BOINTE wydaje

informacja ekspresowa

OBIEKTOWE SYSTEMY KOMPUTEROWE

przegląd dokumentacyjny

OBIEKTOWE SYSTEMY KOMPUTEROWE

biuletyn informacyjny

OBIEKTOWE SYSTEMY KOMPUTEROWE

Materiały konferencyjne, szkoleniowe, prospekty

BOINTE gromadzi

wydawnictwa zwarte, czasopisma krajowe i zagraniczne, katalogi i prospekty, sprawozdania z prac naukowo-badawczych oraz inne materiały informacyjne

BOINTE wykonuje usługi reprodukcyjne i poligraficzne

fotokopie, mikrofilmy, kserokopie z zakresu posiadanych zbiorów

Cena zł. 280.-

WARUNKI PRENUMERATY

Prenumeratę na kraj przyjmują Oddziały RSW "Prasa-Książka-Ruch" oraz urzędy pocztowe i doręczyciele w terminie do dnia 25 listopada na rok następny.

Cena prenumeraty rocznej zł 840.

Jednostki gospodarki uspołecznionej, instytucje, organizacje i wszelkiego rodzaju zakłady pracy zamawiają prenumeratę w miejscowych Oddziałach RSW "Prasa-Książka-Ruch", w miejscowościach zaś, w których nie ma Oddziałów RSW - w urzędach pocztowych.

Czytelnicy indywidualni opłacają prenumeratę wyłącznie w urzędach pocztowych i u doręczycieli.

Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę przyjmuje RSW "Prasa-Książka-Ruch", Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, konto PKO Nr 1153-201045.

Prenumerata ze zleceniem wysyłki za granicę jest droższa od prenumeraty krajowej o 50% dla zleceniodawców indywidualnych i o 100% dla zlecających instytucji i zakładów pracy.

INDEKS 35362